



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

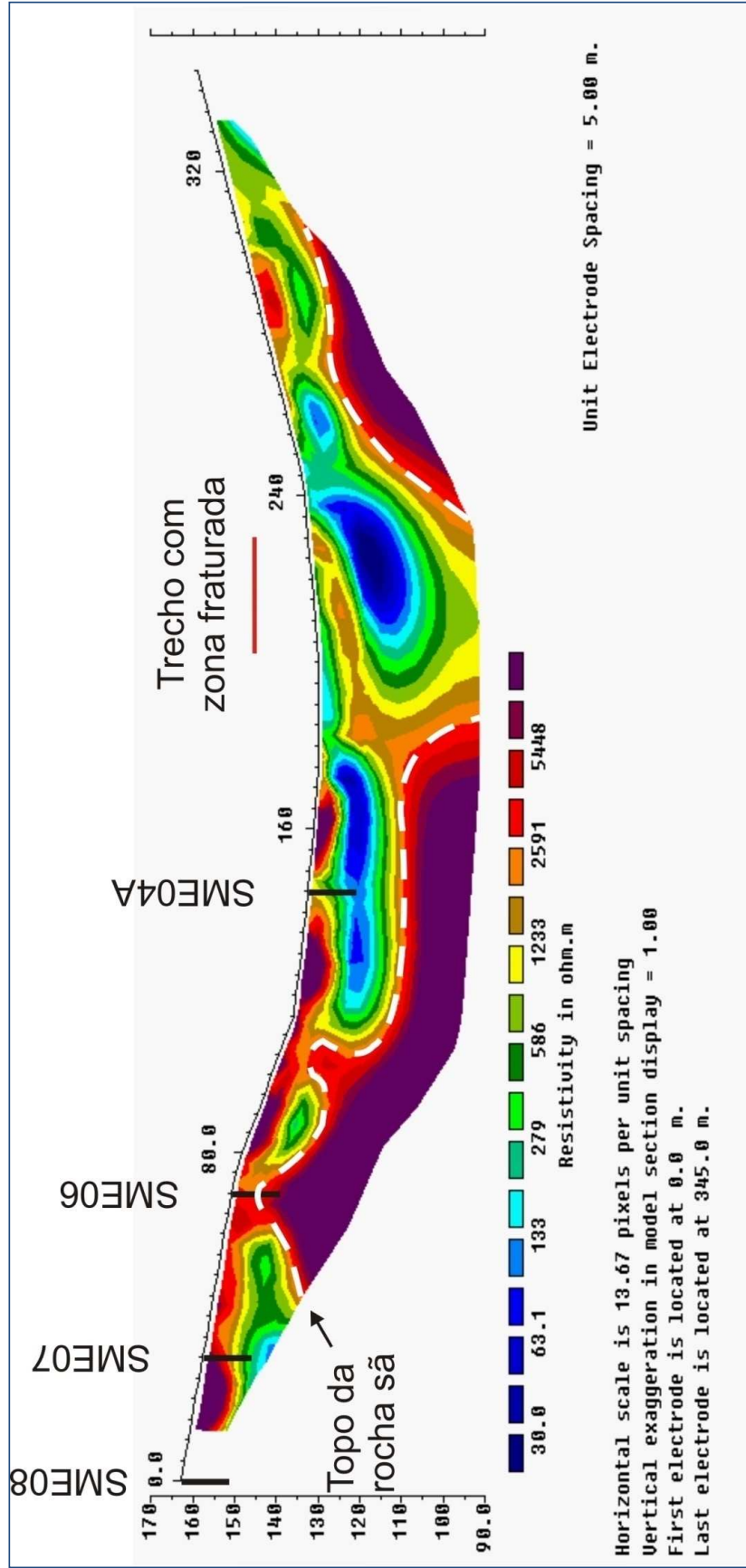


Figura 3.10: Imageamento ao Longo do Eixo Estudado (Processamento Inicial)

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

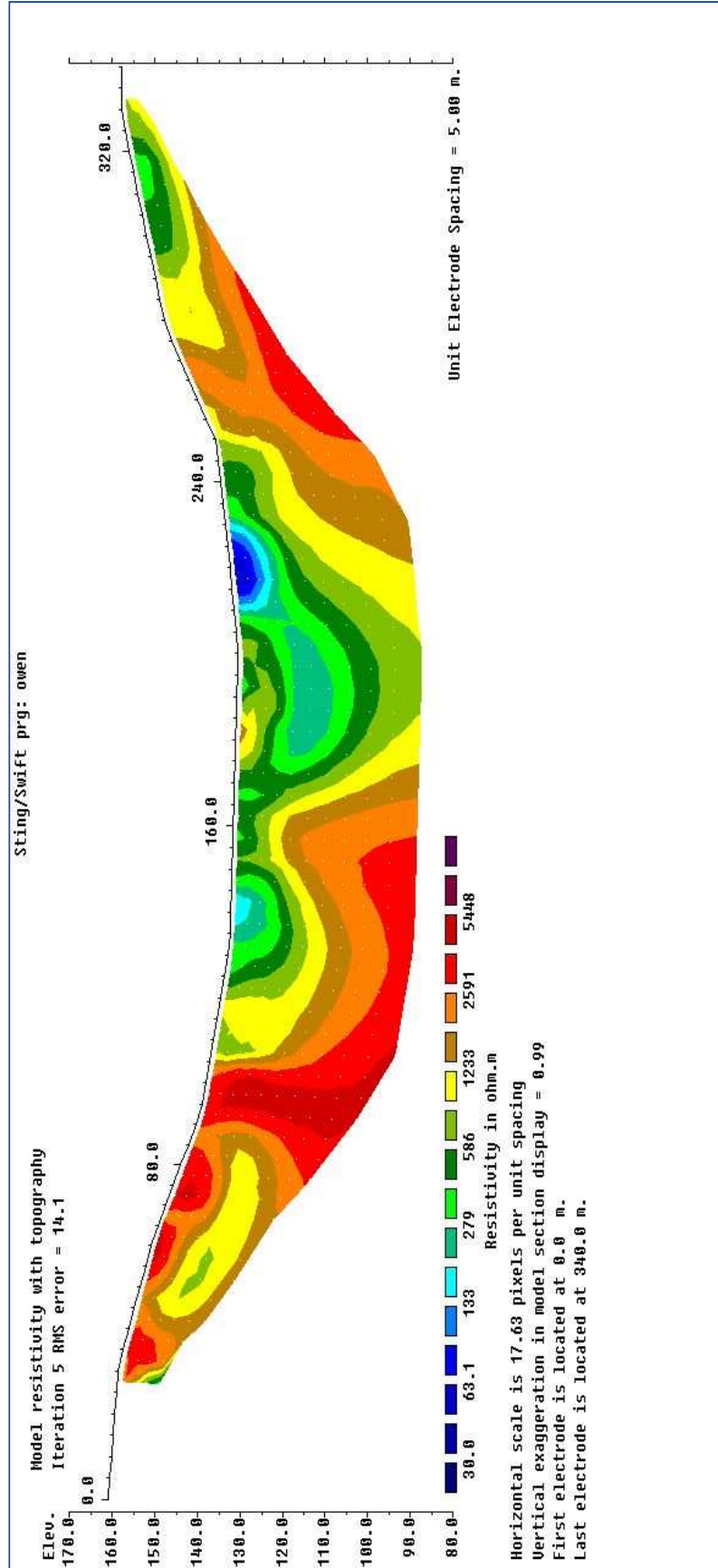


Figura 3.11: Imageamento ao Longo do Eixo Estudado (Processamento Final)

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

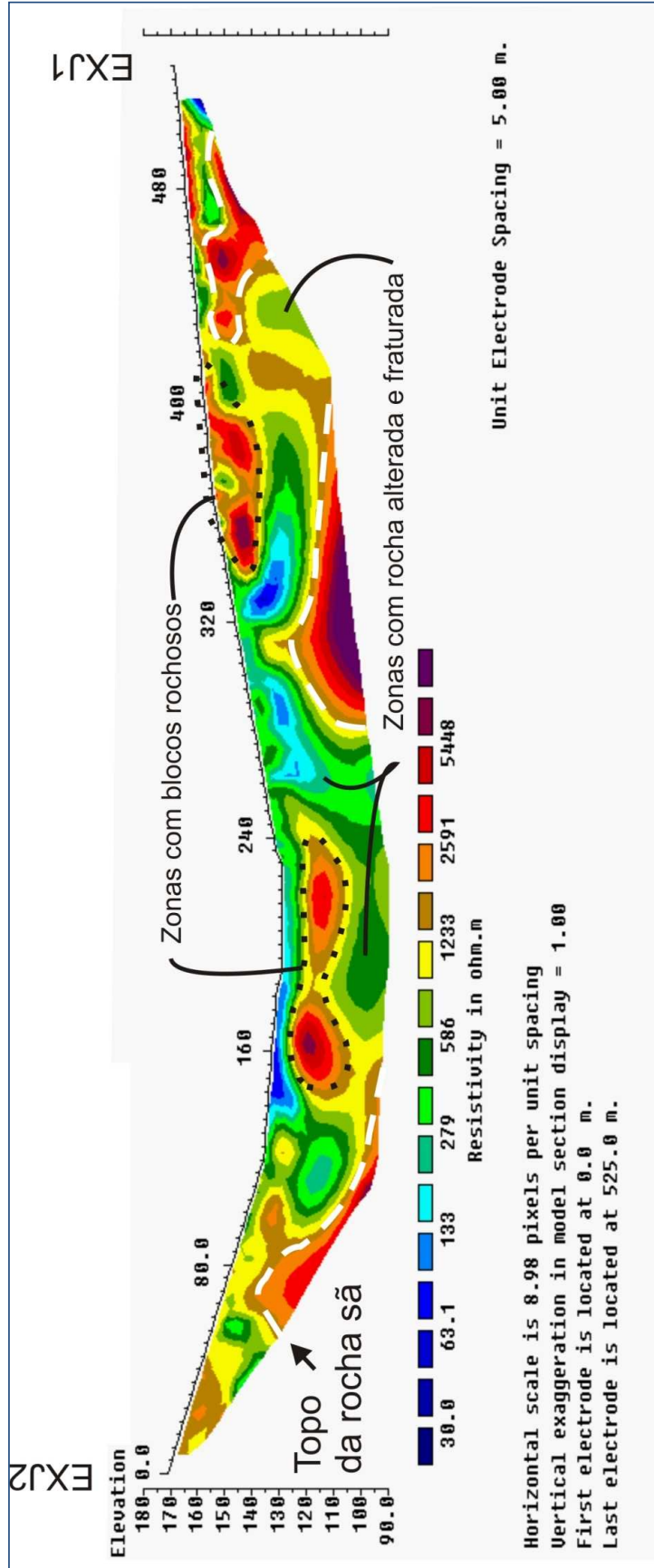


Figura 3.12: Imageamento em Seção Paralela 50m a Jusante do Eixo Estudado

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

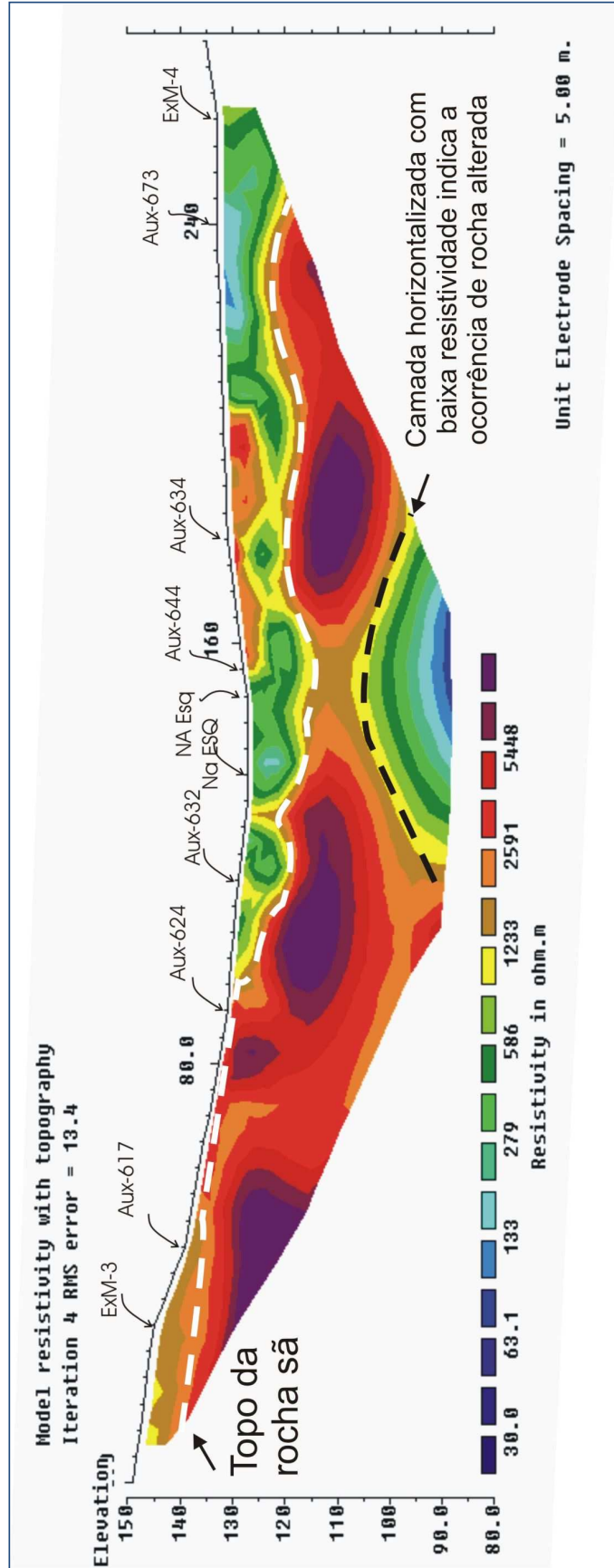


Figura 3.13: Imageamento em Seção Paralela 80m a Montante do Eixo Estudado (L2 Central)

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

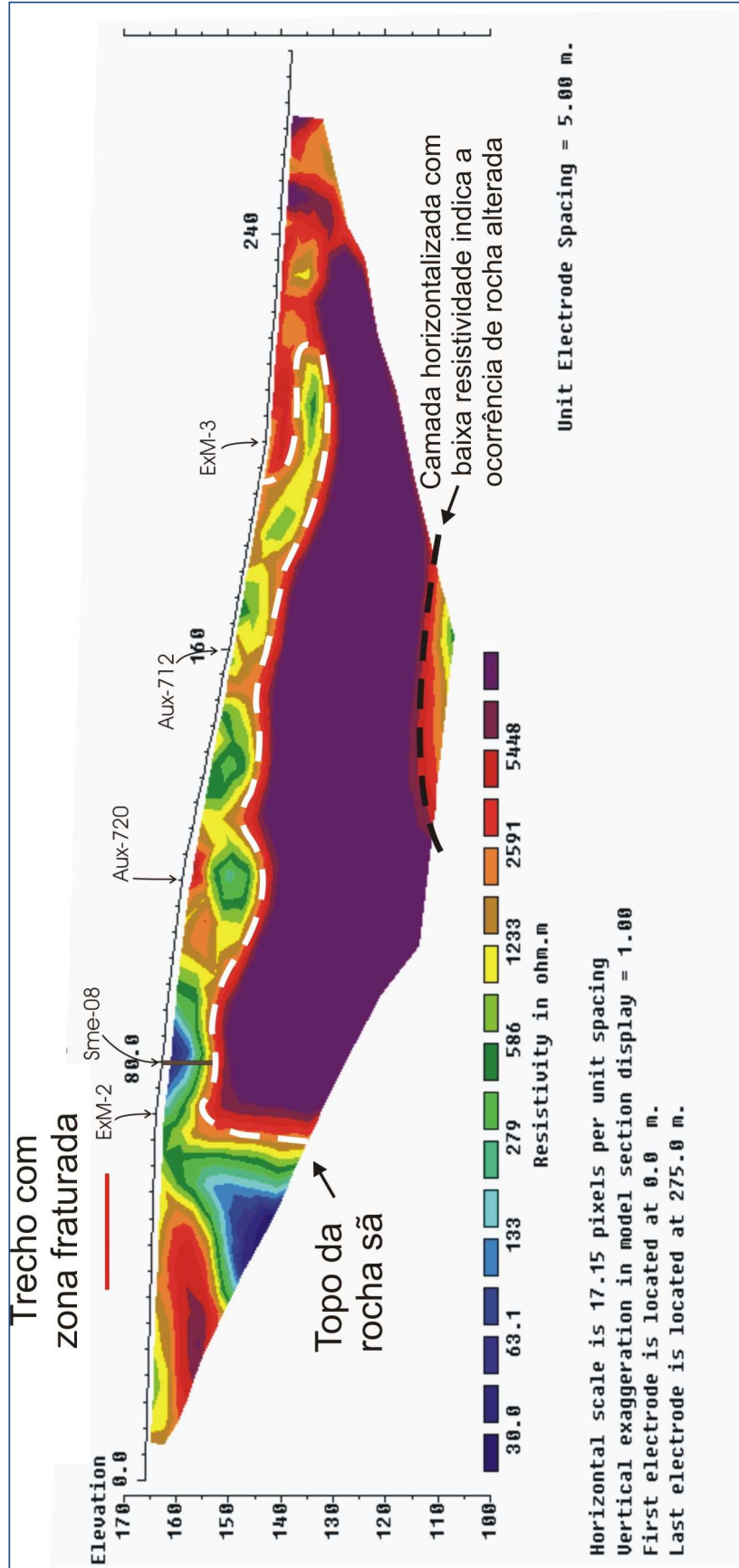


Figura 3.14: Imageamento na Ombreira Esquerda em Seção à Montante, no Prolongamento da L2 (Linha L1)

Consórcio:






 ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

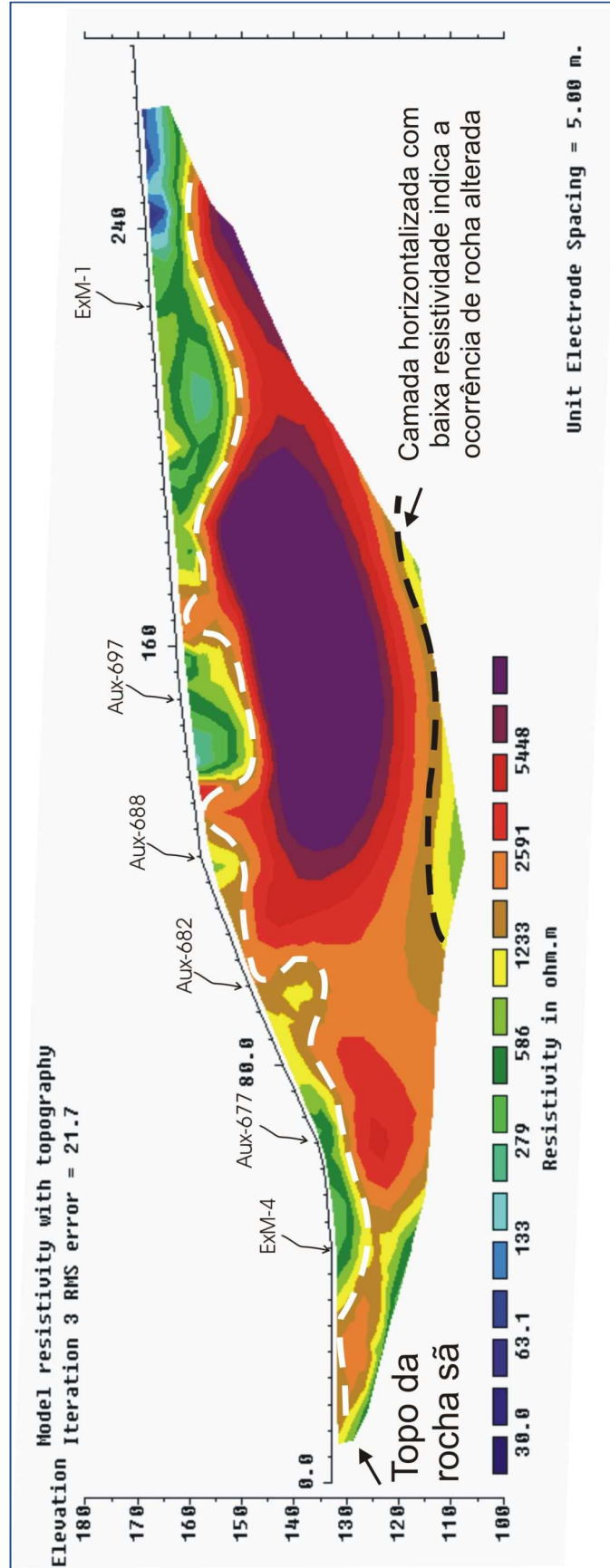


Figura 3.15: Imageamento na Ombreira Direita em Seção a Montante, no Prolongamento da L2 (Linha L-3)

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

3.2.2 Investigações na Área de Pedreira

Na programação inicial dos estudos em área de jazida de material pétreo, com a finalidade de obtenção de agregados para concretos e enrocamentos, haviam sido indicados serviços complementares em jazida anteriormente mapeada na margem direita do Arroio Taquarembó. Segundo o projeto básico, a ocorrência estaria localizada aproximadamente entre as coordenadas E=730.800/731.000 e N=6.590.650/6.590.800, a uma distância aproximada de 450 m a montante do eixo da barragem, com reserva de volume estimada em 300.000 m³. O piso desta pedreira foi cogitado na elevação +140 m, com altura máxima de corte em rocha até a elevação +165 m. Ocorre que esta área se encontra ainda sem autorização de acesso para execução de sondagens, além de situar-se na margem direita, ou seja, na margem oposta em relação ao local em que a empreiteira pretende instalar suas instalações industriais.

Como a região oferece diversas alternativas de jazidas de material pétreo, a equipe de geologia da projetista, com a participação do geólogo Sandor Arvino Grehs, mapeou outra ocorrência de material rochoso localizada na margem esquerda do Arroio Taquarembó, em distância da ordem de 400m a montante do eixo atual. A área foi denominada JR-01 (Jazida de Rocha 01) estando compreendida aproximadamente entre as coordenadas E=730.500/730.800 e N=6.590.250/6.590.500.

O contexto geológico permite identificar a ocorrência como rochas metavulcânicas com variabilidade de composição mineralógica e petrográfica, caracterizando incidências riolíticas, dacíticas e andesíticas, que podem eventualmente evidenciar presença de minerais sulfetados (pirita) e carbonatos de cálcio (calcita). Em razão da geogênese as zonas fraturadas podem caracterizar a presença de efeitos de alteração hidrotermal.

Nas peças gráficas apresenta-se desenho com a localização da área e síntese dos estudos realizados. Sugere-se que a frente da pedreira seja na face Nordeste (piso na elevação +146m) ou na face Nordeste/Sudeste (piso na elevação 146m), cabendo à empreiteira definir o plano de exploração que for mais adequado. Ressalta-se, apenas, não ser recomendável o ataque pela face Oeste pois este lado está voltado para a área do futuro canteiro de obras e das prováveis instalações industriais. Nessa jazida foram executadas 4 sondagens rotativas (SR-01 a SR-04, conforme boletins em Anexo), diâmetro BX, que confirmaram a ocorrência de rocha maciça classificada como riolito. Ao todo foram perfurados 50,38m de sondagem rotativa.

A espessura de camada estéril (expurgo), de acordo com as perfurações executadas, varia entre 1,50 e 2,30m, com média de 2,12m nas perfurações. Porém, existem áreas em que a rocha é aflorante, quando a espessura de estéril deverá ser mínima (inferior a 1,0m). A reserva de volume de rocha útil neste morrote é superior a 258.750m³, com sobras para as necessidades da obra.

O ensaio de sanidade avalia a durabilidade dos agregados à desintegração química devido a 5 (cinco) ciclos de secagem em estufa e umedecimento em solução de sódio (Na₂SO₄). Para a execução do ensaio de durabilidade de agregados (sanidade) ocorre a britagem do material nas frações necessárias e para que o material ensaiado seja considerado adequado, este não deve apresentar perda (ponderada) superior a 12%. Os resultados apresentaram perdas em massa menores que 12%, o que também deve ser verificado na perda ponderada, sugerindo que este material serve para agregado.

Quanto ao ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles, que verifica a resistência do agregado graúdo ao desgaste e impacto, a amostra obteve resultados inferiores a 50%

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

(11,80%), em peso, do material, conforme requerido para agregado para concreto (NBR 7211).

Na lâmina petrográfica a amostra do testemunho foi descrita como sendo de lapilli tufo de composição riolítica (tufo soldado). A estrutura principal é maciça, marcada por fragmentos de litoclastos de rochas vulcânicas ácidas e shards dispostos sem orientação. A estrutura piroclástica não apresenta boa seleção ou organização interna dos clastos. Não há evidências de deformação no estado sólido (recristalização), a estrutura é primária. Há indícios de alteração hidrotermal, com ocorrência de uma matriz muito fina composta por argilo-minerais do grupo das esmectitas e das illitas, provavelmente, cinza claro, de fragmentos angulosos de cor verde claro e escuro e castanho-avermelhado. A ocorrência restrita de microfaturas associada com o baixo percentual de argilização e com a composição quartzo-feldspática resultam em uma rocha de coesão média. O material é de natureza ígnea, vulcânica piroclástica. Na análise visual apresenta de 7 a 10% de quartzo, 2 a 3% de feldspato, 10 a 15% de matriz (composição quartzo-feldspática), 50 a 55% de litoclastos de riolitos e 20 a 25% de litoclastos de shards.

A Reação Álcali Agregado (RAA) é um fenômeno químico que ocorre entre determinados materiais potencialmente reativos do agregado e álcalis presentes no cimento, ocasionando expansões que podem comprometer a durabilidade e a estabilidade de uma estrutura de concreto com o decorrer do tempo.

Para avaliar esta possibilidade de reação executou-se um ensaio de reatividade potencial álcali-agregado (ASTM C-1260) em amostra identificada como brita de pedra virgem (procedente da JR-01), classificando-se ao final a mistura agregado/cimento como inócua, possibilitando o uso destes materiais para agregados.

O relatório com os resultados destes ensaios descritos anteriormente encontra-se apresentado nos Anexos.

3.2.3 Investigações nas Áreas de Pontos de Fuga

Ao longo das áreas de pontos de fuga, todos localizados na margem esquerda junto à borda do reservatório, foram realizadas inspeções de campo e investigações geotécnicas específicas, que incluem sondagens e ensaios geotécnicos com vistas à definição do perfil geotécnico.

Conforme a análise das sondagens a percussão executadas e dos ensaios de infiltração o material da fundação dos pontos de fuga apresenta uma camada superficial de argila orgânica siltosa ou arenosa, sobreposta a areia fina siltosa ou ao silte arenoso com elevado N_{spt} (número de golpes), e conseqüentemente, alta resistência. O impenetrável foi verificado a 2,80 m, aproximadamente. O valores do coeficiente de permeabilidade estão na faixa de 10^{-5} cm/s a 10^{-8} cm/s, indicando materiais semi-permeáveis a quase impermeáveis.

3.2.4 Relatório Geológico

O relatório geológico apresenta de forma resumida a geologia regional da bacia do Taquarembó e a geologia de detalhe da área de entorno do empreendimento, considerando principalmente o eixo do barramento e suas alternativas de montante e jusante, pedra, pontos de fuga 1 e 2 e área de alagamento.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

3.2.4.1 Geologia Regional

A bacia do arroio Taquarembó apresenta uma forma alongada no sentido leste-oeste e um relevo dissecado em rochas do Escudo Sul-riograndense, configurando colinas, interflúvios tabulares e secundariamente cristas. As encostas são geralmente íngremes com a presença de matacões.

As rochas mais antigas pertencem ao Complexo Granulítico Santa Maria Chico e ocorrem na porção mais central da bacia. A leste ocorrem as rochas da Formação Hilário e mais a oeste, na região do empreendimento, predominam as rochas da Formação Acampamento Velho (Figura 3.16 e desenho BAR-GEO-05).

O Complexo Granulítico Santa Maria Chico é composto por ortognaisses granulíticos e raros paragnaisses e são as rochas mais antigas encontradas na região (Hartman et.al. 2000)².

A Formação Hilário é composta de traquiandesito e traquibasaltos na base, andesitos e dacitos mais para o topo, interdigitados com rochas piroclásticas. A Formação Acampamento Velho segundo Brasil (1986)³ e Nardi et. al. (2000)⁴, está representada por derrames de riolitos pórfiros, riodacitos, dacitos, ignimbritos, brechas e tufo vulcanoclásticos, além de, subordinadamente, sienitos associados às vulcânicas, conglomerados, arcóseos e siltitos.

Segundo mapeamento da CPRM (2008)⁵ a Formação Acampamento Velho é dividida em fácies denominadas de α e β onde α é representado por riolitos traquitos, e dacitos e β por basalto, rochas piroclásticas, brechas vulcânicas e ignimbritos formando o Bloco Taquarembó ou Platô do Taquarembó que é uma feição de relevo alongada de maior altitude e topo plano conforme Figura 3.17.

² HARTMAN, L.A.; PORCHER, C.C.; REMUS, M.V. (2000). Evolução das rochas metamórficas do Rio Grande do Sul. In Geologia do Rio Grande do Sul., HOLZ, M; DE ROS L.F., Editores, p. 79-118.

³ BRASIL (1986). Levantamento de recursos naturais. Projeto RADAMBRASIL, IBGE, 1986, v. 33.

⁴ NARDI, L.V.S.; LIMA, E.F. (2000). Magmatismo Shoshonítico e Alcalino da Bacai do Camaquã-RS, In Geologia do Rio Grande do Sul., HOLZ, M; DE ROS L.F., Editores, p.119-131.

⁵ Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM .2008

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

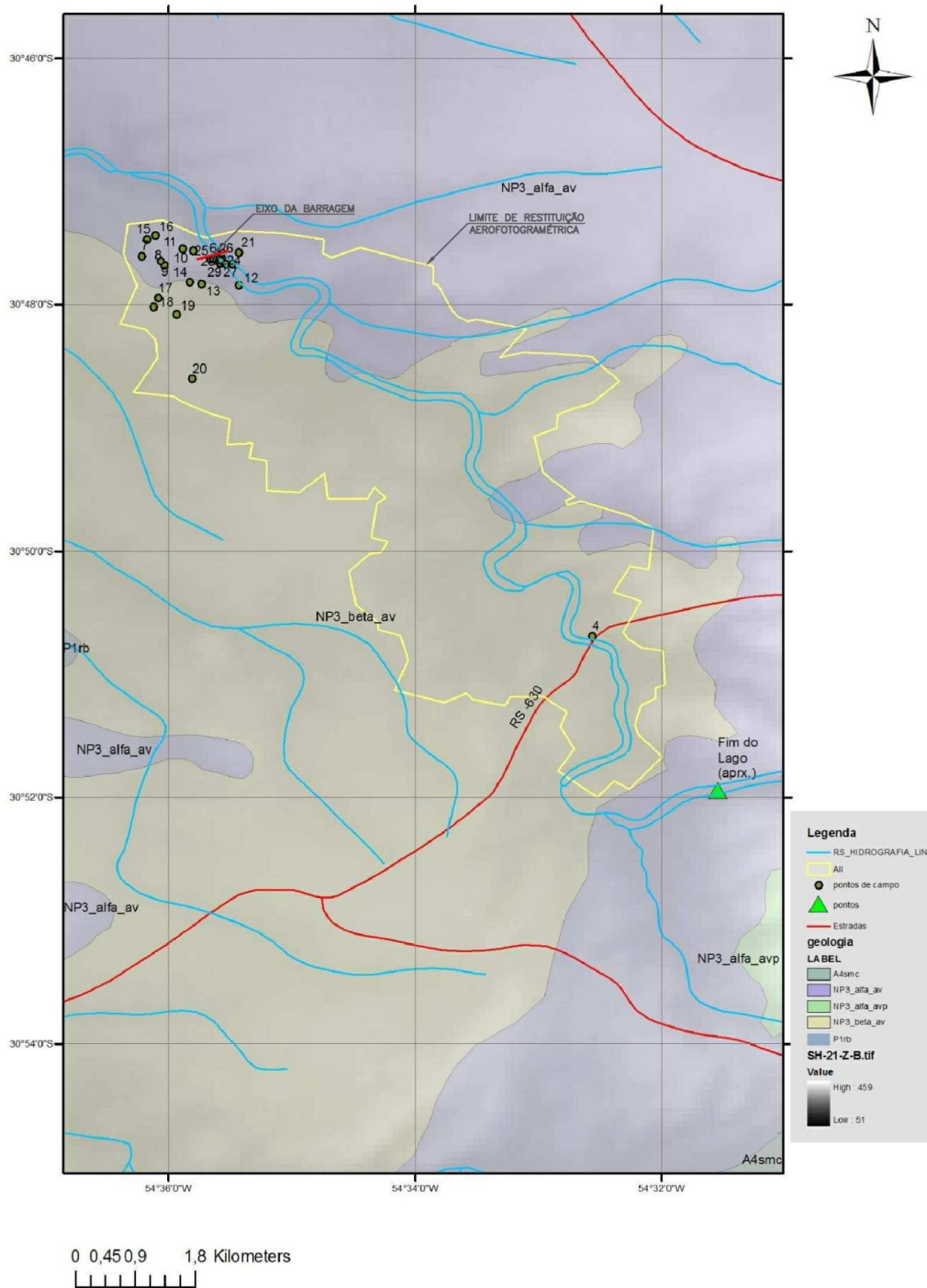


Figura 3.16: Mapa Geológico Regional. Fonte: CPRM(2008)

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS



Figura 3.17: Platô do Taquarembó (ao fundo)

Os limites do Bloco Taquarembó são definidos a norte pelo Lineamento de Ibaré, a leste pela anomalia superficial de Caçapava do Sul, a oeste e a sul pela cobertura sedimentar da Bacia do Paraná. Segundo Chemale Jr. (2000)⁶, o Lineamento de Ibaré é uma estrutura transformante de direção NW que desempenhou importante papel como zona de cisalhamento durante o ciclo Brasileiro. Além desta, ocorrem importantes feições cisalhante de direção NE localizadas a oeste da área.

3.2.4.2 Geologia de Detalhe

A área do eixo e alagamento do barramento encontram-se sobre a Formação Acampamento Velho que na região atinge até 700m de espessura com predomínio de rochas vulcânicas (riolitos) e piroclásticas (brechas vulcânicas, tufos e lapilitos).

Com o objetivo de uniformizar as descrições geológicas neste relatório, serão apresentados a seguir, os conceitos básicos utilizados adotados para descrição das rochas piroclásticas.

3.2.4.2.1 Critérios para Classificação de Rochas Piroclásticas

As rochas piroclásticas são classificadas como rochas ígneas, de acordo com a sua composição, embora na forma de deposição, formando estratos, se assemelhem muito às rochas detríticas de natureza sedimentar.

Piroclastos são os fragmentos que formam as rochas piroclásticas, cuja designação é puramente genética. Assim, o termo *piroclasto*, tende a ser utilizado de forma genérica para referir qualquer material de natureza fragmentária produzida por um vulcão, sendo complementado por uma sub-classificação, em geral baseada na dimensão dos fragmentos.

⁶ CHEMALE, Jr F. (2000). Evolução geológica do Escudo Sul-riograndense, In Geologia do Rio Grande do Sul., HOLZ, M; DE ROS L.F., Editores, p. 13-52.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Os piroclastos podem ser representados por minerais individuais, fragmentos de minerais, vidro, púmice ou rochas. A classificação é puramente descritiva e baseada na forma e granulometria dos fragmentos. Há quatro tipos principais de piroclastos (fragmentos): bomba, bloco, lapilli e cinza. As principais características dos piroclastos estão resumidas no Quadro 3.3.

Quadro 3.3: Classificação dos piroclastos (fragmentos)

Nome do fragmento	Tamanho	Forma
Bomba	> 64 mm	Arredondada
Bloco	> 64 mm	Angulosa a subangulosa
Lapilli	entre 64 mm e 2 mm	Angulosa a arredondada
Cinza	< 2 mm	Angulosa a arredondada

As rochas pirocláticas podem ser unimodais quando apresentam preferencialmente um tamanho de fragmento ou polimodais quando são constituídas por fragmentos de vários tamanhos. As rochas unimodais podem ser classificadas em aglomerado, brecha piroclástica, lapilito e tufo. As rochas piroclástica polimodais são classificadas com base numa combinação de termos conforme resumido no Quadro 3.4. A Figura 3.20 mostra os tamanhos de fragmentos encontrados nas rochas da região.

Quadro 3.4: Classificação das rochas piroclásticas

Classificação	Rocha	Descrição
Unimodal	Aglomerado	> 64 mm, predominantemente bombas
	Brecha Vulcânica	> 64 mm, predominantemente blocos
	Lapilito	entre 64 mm e 2 mm
	Tufo	< 2 mm, podendo ser vítreos, cristalinos ou líticos
Polimodal	Lapilito Brecha (ou Lapilli Brecha)	Predomina fragmentos de lapilli (entre 64 mm e 2 mm) e subordinadamente blocos (> 64 mm)
	Lapilito Tufo (ou Lapilli Tufo)	Predomina fragmentos de lapilli (entre 64 mm e 2 mm) e subordinadamente cinza (< 2 mm)

3.2.4.2.2 Critérios para Mapeamento Estrutural

A orientação espacial das descontinuidades (juntas de contração e falhas) está expressa em termos de sua direção e mergulho, em azimute, utilizando-se a regra da mão esquerda, onde o polegar aponta para a direção de mergulho e o indicador define a direção do plano (Figura 3.18). As medidas de azimute e mergulho das descontinuidades foram obtidas com bússola e clinômetro do tipo Brunton.

Os parâmetros como persistência, abertura e estado de alteração foram descritos conforme ISRM (1978)⁷. Para caracterização do espaçamento e percolação de água na

⁷ ISRM (1978). Suggested methods for the quantitative description of rock masses. Intl. J. Rock Mech. Min.Sci. and Geomech, 1978. v. 15, n.6, p. 319 – 388.Abstr.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS

descontinuidade utilizou-se ABGE (1983)⁸ e para classificação da rugosidade das paredes, Barton et al. (1974)⁹.

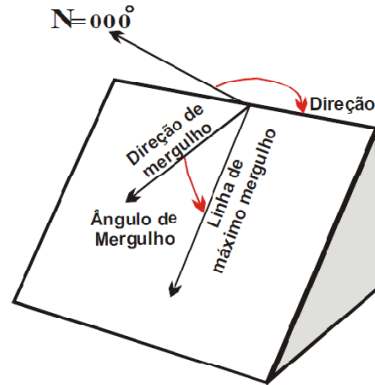


Figura 3.18: Orientação dos planos das descontinuidades medidos na barragem do Taquarembó

3.2.4.2.3 Caracterização Geológica

Na região de entorno da barragem Taquarembó ocorrem poucos afloramentos de rocha onde predominam os afloramentos do tipo blocos e matacões e raros lajeados como podem ser vistos na Figura 3.19. A predominância de afloramentos do tipo blocos e matacões se dá devido a ocorrência de um grande número de descontinuidades que se interceptam. Vale lembrar que estes tipos de afloramentos dificultam a localização e identificação dos contatos entre as litologias e a caracterização das descontinuidades.

O empreendimento está localizado em uma região de afloramento de rochas da Formação Acampamento Velho onde ocorrem riolitos, ignimbritos compostos de agregados de fragmentos líticos, de púmice e de vidro vulcânico e depósitos de quedas representados por tufo a lapili tufo, lapilitos e subordinadamente por brechas riolíticas compostas por blocos e fragmentos lapilíticos de contorno irregular e anguloso (Figura 3.20).

A composição dos fragmentos (piroclastos) é variada podendo ser: líticos, de púmice ou de vidro vulcânico. A composição destes fragmentos influencia seu grau de alteração onde púmice e vidro vulcânico tendem a se mostrar mais alterados que os fragmentos líticos por não apresentarem uma estrutura cristalina bem definida.

Quando são, as rochas piroclásticas são rosadas a avermelhadas, bastante coesas. Quando alteradas são bege a amareladas e mostram estruturas de contração bem marcadas, próximas a muito próximas com espaçamento que pode variar entre 1 e 5 cm em alguns locais (Figura 3.21).

⁸ ABGE (1983). Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos. 1983. 132p. Tradução nº 12.

⁹ BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. (1974) Engineering Classification of Rock Masses for design of tunnels support. Rock Mech. London, v.6, n. 4, p.15-21, 1974.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS



Figura 3.19: Tipo de afloramento típico da região com grande número de blocos e matacões (ombreira esquerda)



Figura 3.20: Amostras das rochas encontradas em campo: no alto Lapilito, abaixo e na esquerda Brecha e na direita Lapili Brecha (ombreira esquerda)

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS



Figura 3.21: Junta de contração em rocha levemente alterada

Por se tratar de depósito de queda, tanto em campo como em testemunhos de sondagem, é possível observar uma gradação normal dos tamanhos dos fragmentos, isto é, na base predominam as rochas com fragmentos maiores, diminuindo o tamanho dos fragmentos em direção ao topo. Deste modo, as brechas vulcânicas e lapili brechas (fragmentos de maior tamanho) predominam nas cotas mais baixas. Em direção ao topo, os fragmentos tendem a ser menores predominando lapilitos e lapili tufos ou somente tufos (Ex: sondagem SME18).

Lateralmente estas rochas também apresentam gradação, porém devido ao tipo de afloramento, é bastante difícil estabelecer a relação de gradação entre os diferentes tipos de rocha.

Analisando as fotografias aéreas em escala 1: 60.000 foi possível extrair um grande número de descontinuidades para a área de influência da barragem, principalmente próximo ao eixo, pois nestes locais ocorrem um maior número de afloramentos. Na área de entorno do alagamento, principalmente na margem esquerda do arroio predominam campos com poucos afloramentos e desta forma as descontinuidades não ficam tão evidentes.

A Figura 3.22 mostra as descontinuidades extraídas das fotografias aéreas. Pode-se observar um grande número de descontinuidades paralelas muito próximas, identificadas em campo como juntas de contração, que variam de atitude entre NE, NW e E-W, principalmente ao redor do eixo. Estas juntas são interceptadas por fraturas ou falhas de direção NE e NW, mais espaçadas.

Somente com base na análise das fotografias aéreas é possível afirmar que as rochas sofreram intensa fragmentação pela intersecção das juntas de contração com as fraturas e falhas tectônicas o que pode ser confirmado em campo pelo tipo de afloramento e pela baixa recuperação de alguns testemunhos de sondagens, tais como SME4, SME4A, SME6, SME7, SME8, SME10, SME11 e SME12.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

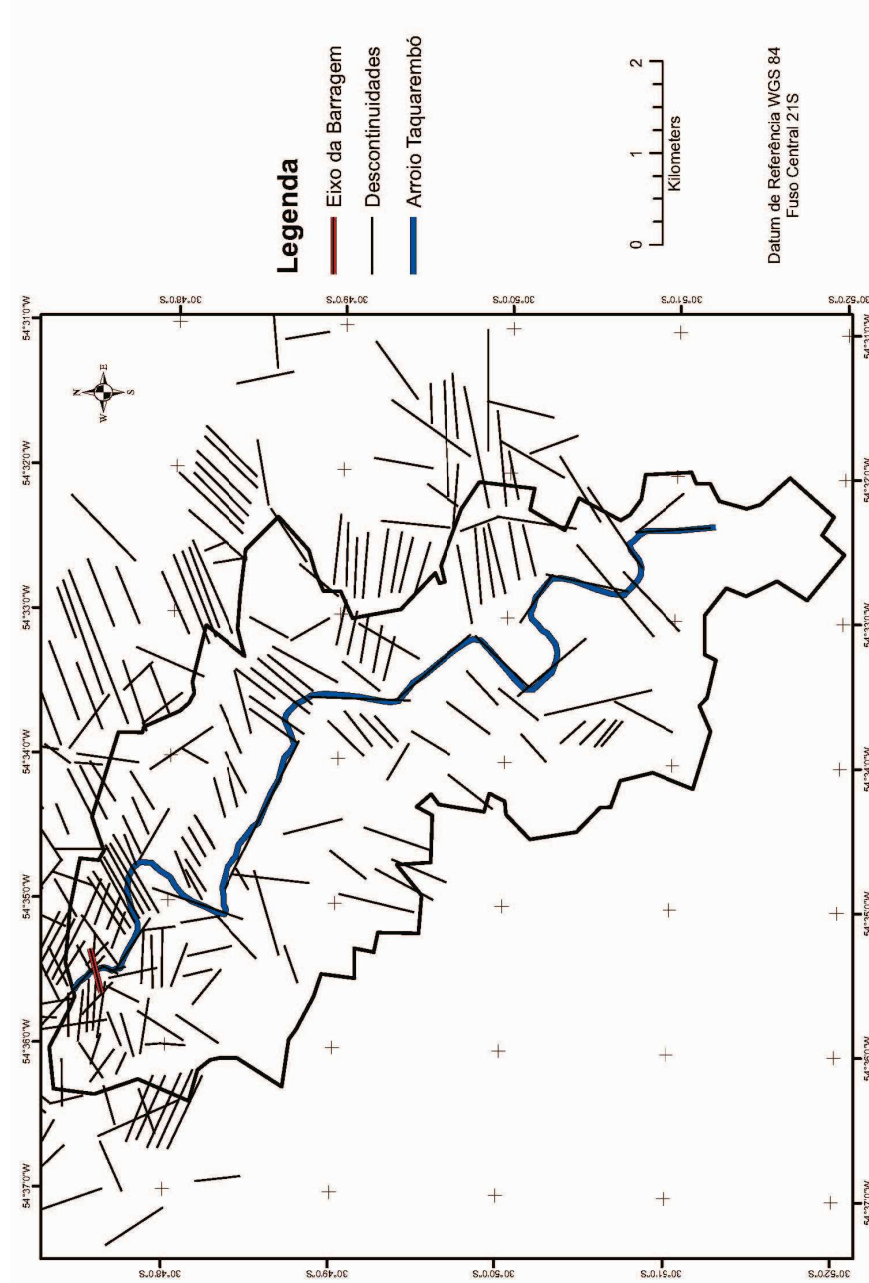


Figura 3.22: Descontinuidades extraídas das fotografias aéreas para a área de entorno da barragem Taquarembó

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS

Área do Eixo

Na região de entorno do eixo da barragem predominam lapili-brechas e lapilitos e subordinadamente tufos ou lapilli-tufos e brechas vulcânicas levemente alteradas, além de riolitos em menor quantidade. A distribuição das rochas e as descontinuidades medidas em campo podem ser vistas na Figura 3.24.

Na ombreira direita ocorrem afloramentos de blocos e matacões no topo da encosta. Os blocos são bem individualizados devido à fragmentação originada pela intersecção das fraturas com as juntas de contração. Nesta encosta foram encontrados depósitos superficiais pouco espessos de colúvio/tálus cobertos por vegetação rasteira. As rochas predominantes nesta encosta são Lapilitos, Lapilli-Brechas e Brechas. Ao longo do eixo da encosta na parte basal ocorrem rochas de granulometria mais grossa como Brechas. Em direção ao topo até meia encosta o tamanho dos fragmentos vai diminuindo (Lapilli-brechas e Lapilitos). Da meia encosta para o topo a gradação volta a se repetir, com Brechas e Lapilitos, sendo que esta última predomina bem no topo da encosta (Figura 3.23).



Figura 3.23: Lapilitos – topo da ombreira direita

As descontinuidades medidas em afloramentos na ombreira direita foram 10°; 90°- 300°; 85°- 170°; 85°. As fraturas são medianamente afastadas, abertas com rugosidade do tipo plano-rugosa, persistência média a grande e comumente com terminação em outra fratura.

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

Verificou-se que as superfícies das fraturas apresentaram com manchas de oxidação indicando a percolação de água.

Na ombreira esquerda predominam Lapilitos e Lapilli-Brechas. Na sondagem SME05 foi encontrada Brecha na cota 140, semelhante à cota onde foi encontrado este mesmo tipo de rocha na ombreira direita. As juntas predominam na direção 10°-20°; 65°-85° e 160°-170°; 60°-65° e as fraturas e falhas 40°-70°; 70°-85° e 280°-300°; 80° -90°. As fraturas são medianamente afastadas a próximas, abertas, com rugosidade do tipo ondulada-lisa a plana-lisa, persistência média a grande e comumente com terminação em outra fratura. Verificou-se que as superfícies das fraturas apresentaram com manchas de oxidação indicando a percolação de água.

Na ombreira esquerda, em direção a base da encosta, próximo a zona de falha (ponto de retirada de material de empréstimo para aterro – Figura 3.25), a rocha apresenta-se moderadamente a altamente alterada. Na base da encosta onde se localizará a ombreira esquerda, foi encontrado riolito alterado na base do perfil em uma zona de descontinuidades paralelas associadas a uma falha normal de atitude 120°;70° com persistência média a baixa, plana rugosa com espaçamento entre 0,5 e 1 m.

Um pouco mais acima deste local, na cota de aproximadamente 148m foi encontrada outra falha de atitude 50°;25° (aparece com um círculo vermelho na Figura 3.24) de persistência média a grande onde, numa faixa lateral de aproximadamente 5m em seu entorno, a rocha, um Lapili-Brecha, apresenta-se bastante alterada, praticamente um saprólito (Figura 3.26).

Acima deste local ocorre uma espessa camada de rocha alterada e saprolito recoberto por um colúvio/talus de até 1m de espessura. Este local está próximo a uma área identificada como de baixa resistividade na investigação geofísica.

Os fragmentos de rocha que ocorrem nos colúvio/tálus mostram forma predominantemente tabular indicando forte influência das juntas de contração na origem deste material.

As rochas são compostas por fragmentos de tamanho e composição variados e mostram juntas de contração bem marcadas de atitude 160°-185°; 60°- 70° devido a alteração. As juntas de contração são interceptadas por fraturas de direção 260°;90° e 300°-350°;85°. Estas fraturas são abertas, espaçadas a medianamente espaçadas, apresentam rugosidade variando entre plana ondulada e plana lisa e persistência de média a grande.

Na margem esquerda do arroio foi identificado em testemunho de sondagem (SME 14) um riolito, possivelmente um dique, porém, como este afloramento não está acessível por estar submerso, não foi possível estabelecer em campo a atitude do dique. Neste local, foram mapeadas também estruturas de atitude 10°;85° com rugosidade do tipo ondulada lisa, abertura entre 1e 2mm, persistência média, espaçamento de 2cm a 1 m.

No estágio atual de limpeza da ombreira esquerda, não foi possível estabelecer a relação entre o riolito que aparece na escavação e o que ocorre na sondagem SME14 na margem esquerda do arroio. Outros diques de riolitos foram reconhecidos próximo a ombreira direita do Ponto de Fuga 1 e Ponto de Fuga 2.

Nesta escavação também foram encontrados blocos de rocha alterada de cor esverdeada podendo tratar-se de alteração hidrotermal relacionada à possível zona de falha.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

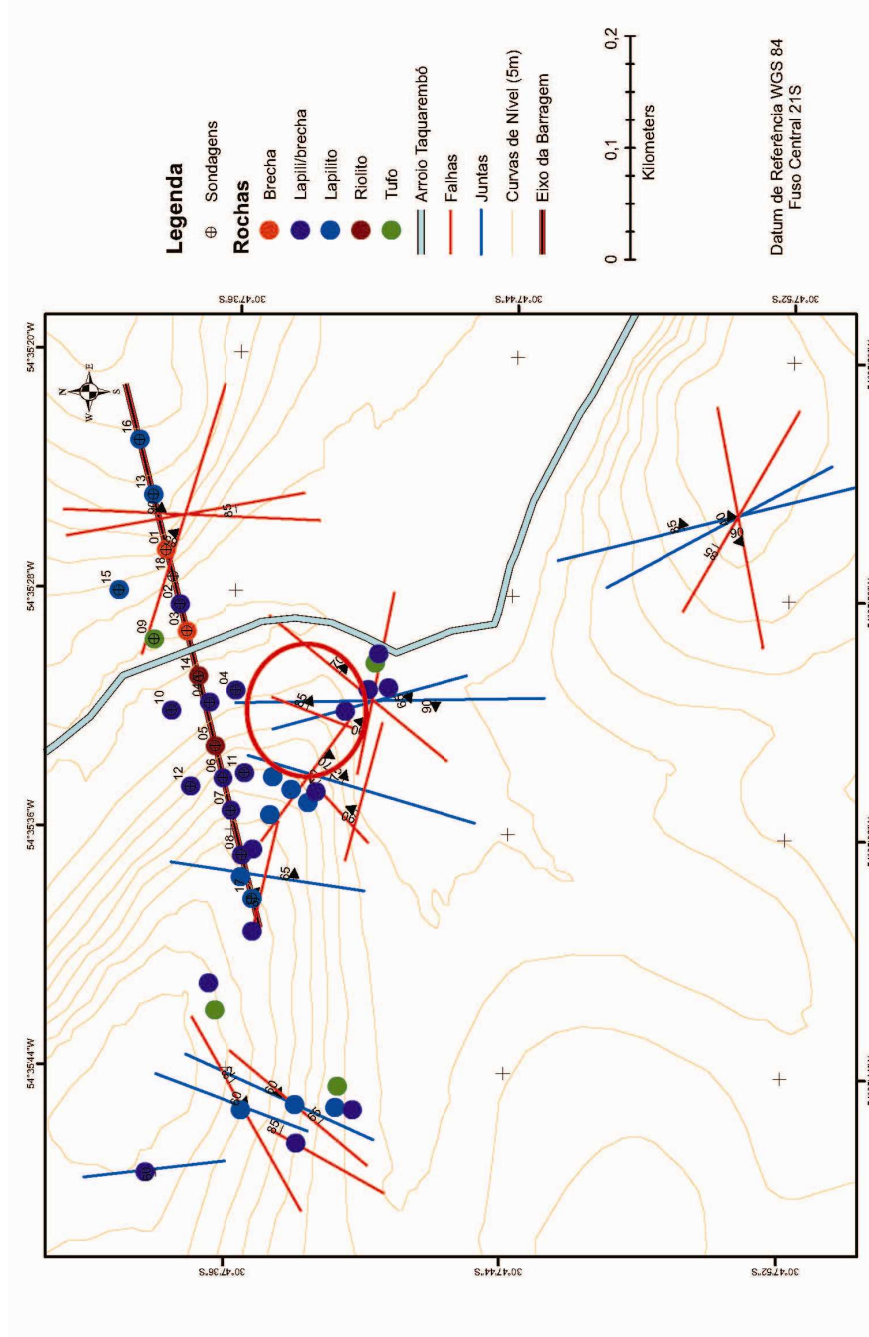


Figura 3.24: Descontinuidades medidas e rochas encontradas no entorno do eixo

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS



Figura 3.25: Falha localizada na base da encosta – ombreira esquerda



Figura 3.26: Zona de falha a montante do eixo alternativo do barramento – ombreira esquerda

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

No leito do rio próximo ao eixo do barramento foi encontrado um afloramento em forma de lajeado de Brecha Vulcânica, com a presença de disjunção sub-horizontalizada de atitude 20°; 85°, com espaçamento variando de próxima a medianamente afastados, abertas, rugosidade do tipo plano ondulada, persistência média com terminação em fratura E-W.

Além destas ocorrem fraturas 150°;55°, abertas a moderadamente largas, medianamente afastadas, com rugosidade ondulada plana, de pequena persistência e terminação em estrutura 90°;90°. As fraturas 90°;90° são moderadamente largas a largas, medianamente afastadas a afastadas, persistência média e rugosidade plano-ondulada e apresentado sinais de percolação de água. Em partes deste afloramento (Figura 3.27 e Figura 3.28) tanto as fraturas 20°; 85° quando 90°; 90° apresentam-se próximas a muito próximas caracterizando o maciço muito fraturado e mais alterado.

No afloramento no leito do arroio a aproximadamente 30m a montante do eixo do barramento foi identificado um Lapili-Brecha de cor esverdeada identificando alteração com juntas de contração de atitude 20°;85° com espaçamento variando de medianamente afastada a afastadas, abertas, rugosidade do tipo plano ondulada, persistência média com terminação em fratura 90°; 90° (Figura 3.29). Além destas estruturas ocorrem juntas de alívio sub-horizontais que são interceptadas por estas fraturas originando lascas de rochas conformado tabular (Figura 3.30).



Figura 3.27: Lajeado a montante da ombreira esquerda ao lado do arroio

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS



Figura 3.28: Lajeado a montante da ombreira esquerda ao lado do arroio



Figura 3.29: Lajeado no leito do arroio a montante do barramento

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS



Figura 3.30: Disjunções horizontais (mesmo afloramento da Figura 3.29)

Área da Pedreira

As rochas identificadas na pedreira são predominantemente Lapilitos e subordinadamente Tufos. Apresentam uma variação no tamanho dos fragmentos e na relação quantidades de fragmentos e matriz vulcânica. No topo da pedreira são comuns as rochas com fragmentos maiores que predominam em relação à quantidade de matriz.

No topo da área da pedreira foram verificadas juntas de contração de direção 340º,40º muitos próximas, com rugosidade plano-ondulada, feições abertas com sinal de percolação de água. Estas estruturas são cortadas por fraturas 80º-90º, medianamente afastadas, com rugosidade plano-ondulada, de persistência média. Além das discontinuidades já citadas ocorrem ainda fraturas 300º;85º e 350º ;85º.

A composição dos piroclastos varia entre púmice, vidro vulcânico e fragmentos líticos que apresentam diferença de resistência a alteração, onde vidros e púmices são mais alteráveis que os fragmentos de rochas. Isto ocorre também nos Tufos que devido à possibilidade de ocorrência de vidro e por apresentarem matriz micro a criptocristalina podem se alterar para argilominerais como sericita, clorita e carbonatos.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

Em função da variação composicional dos fragmentos e dos tipos litológicos encontrados na área é recomendável um acompanhamento constante do grau de alteração dos materiais através de ensaios de sanidade e abrasão.

Área dos Diques de Fechamento dos Pontos de Fuga 1 e 2

Nos locais de ponto de fuga 1 e 2 foram encontrados raros afloramentos de rocha na forma de blocos e matacões muito fraturados e com estrutura de fluxo acentuada pela alteração (Figura 3.31).

Próximo ao ponto de fuga 1 em direção ao topo da encosta, predominam Lapillitos e subordinamente Lapili-Brechas levemente a moderadamente alterados. Ocorrem diferentes direções de descontinuidades, onde são comuns juntas de contração sub-horizantalizadas de atitude $110^{\circ};25^{\circ}$, medianamente afastadas a afastadas, com rugosidade plano-ondulada, persistência média. Essas juntas são cortadas por fraturas de atitudes: $45^{\circ};70^{\circ}$ (próximas); $330^{\circ};90^{\circ}$ (medianamente afastadas); $90^{\circ};90^{\circ}$ (medianamente afastadas) que originam blocos de diferentes tamanhos desde muito grandes a muito pequenos de forma tabular.

Na área do dique do ponto de fuga 2 o único afloramento de rocha é representado por blocos de riolitos recobertos por solo. A rocha apresenta-se moderadamente alterada, fraturada e com juntas de contração bem marcadas (Figura 3.32).



Figura 3.31: Afloramento próximo a ombreira direita do ponto de fuga1



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS



Figura 3.32: Afloramento próximo ao ponto de fuga 2 (riolitos)

Caracterização das Descontinuidades

Foram identificadas em campo diversas descontinuidades na área de entorno do empreendimento. Estas descontinuidades podem ser divididas geneticamente em atectônicas, como as juntas de contração que são provenientes do resfriamento da lava e tectônicas, que estão relacionadas à movimentação da crosta como juntas e falhas.

Em fotografia aérea é possível observar um grande número de descontinuidades relacionadas às juntas de contração, porém, juntas e falhas também são bastante importantes, pois estão relacionadas a grandes eventos tectônicos relacionados à evolução geológica do Escudo Sul-riograndense.

Fica evidente que o arroio Taquarembó, em seu trecho de importância para o empreendimento, encontra-se encaixado em um conjunto de falhas de direções NW e NE predominantemente o que pode ser observado na Figura 3.22 já citada.

As descontinuidades medidas em campo estão indicadas na Figura 3.24 com direção e mergulho. Com as atitudes medidas em campo foi elaborado um diagrama de rosetas que indica as principais famílias de descontinuidades e quais as mais representativas.

Como as juntas de contração são importantes na área, foi construído um diagrama de roseta especificamente para elas com o objetivo de estabelecer a variação das direções encontradas em campo e nas fotografias aéreas. Observando a Figura 3.33, pode-se concluir que a direção das juntas de alívio varia entre 10° e 190° e grande parte delas encontram-se entre 10° e 40°, principalmente entre 20° e 40°, sendo que seus mergulhos variam entre 65° e 85°.

Da mesma forma, foi construído um diagrama de rosetas com todas as atitudes das descontinuidades medidas em campo. O resultado pode ser observado na Figura 3.34.

Analisando o diagrama é possível separar as descontinuidades em quatro famílias principais (grupos de direções semelhantes):

- Família I: 10° - 45°;
- Família II: 90° - 120°;

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

- Família III: 150° - 220°;
- Família IV: 280° - 330°.

A Figura 3.35 apresenta o diagrama de pólos das discontinuidades onde pode-se perceber que ocorre uma maior concentração de pólos na porção noroeste (NE) do diagrama entre 70° e 85°. Isto significa que a maioria das estruturas apresenta mergulho elevado entre 70° a 90° para sudeste (SE). A caracterização de cada família de estruturas pode visto no Quadro 3.5.

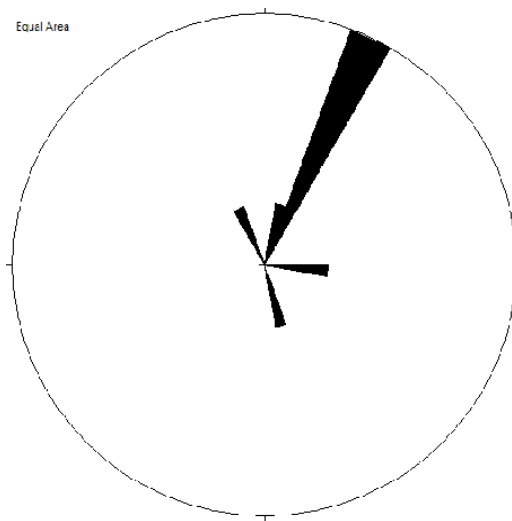


Figura 3.33: Diagrama de roseta das juntas de contração. N=16

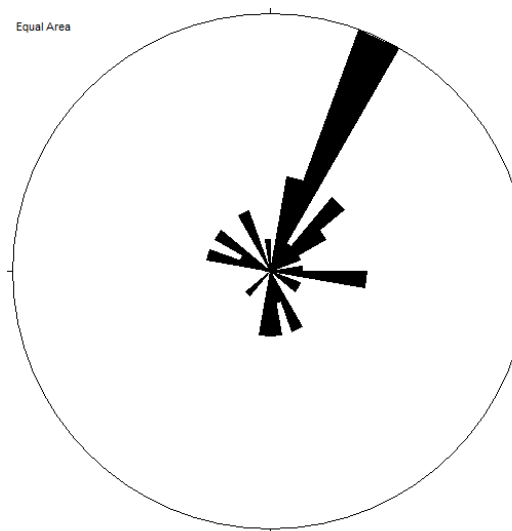


Figura 3.34: Diagrama de roseta das discontinuidades. N=40

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

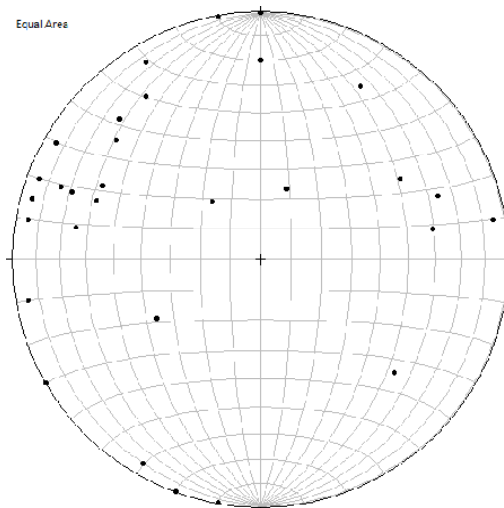


Figura 3.35: Diagrama de pólos das discontinuidades. N=40

Quadro 3.5: Caracterização das estruturas (juntas de contração, fraturas e falhas) nas diferentes famílias

Parâmetros	Famílias			
	10° - 45°	90° - 120°	150° - 220°	220° - 330°
Espaçamento	Próximas a medianamente afastadas	Muito próximas a próximas	Próximas a muito próximas	Próximas a medianamente afastadas
Abertura	Feições falhadas abertas a moderadamente largas	Feições falhadas abertas a moderadamente largas a largas	Feições falhadas, moderadamente largas	Feições falhadas abertas a moderadamente largas
Alteração	Levemente alteradas	Levemente alteradas	Levemente a moderadamente alteradas	Levemente alteradas
Rugosidade	Plana variando entre ondulada lisa e rugosa	Plana variando entre ondulada lisa e rugosa	Plana lisa e rugosa e ondulada lisa	Plana variando entre ondulada lisa e rugosa
Persistência	Média a grande terminação em outra descont.	Pequena a média terminação em outra descont.	Pequena terminação em outra descont.	Média terminação em outra descont.
Percolação	III Seca mas mostra evidência de fluxo de água	III e IV Seca com evidência de fluxo de água; Úmida sem água livre	III e IV Seca com evidência de fluxo de água; Úmida sem água livre	III e IV Seca com evidência de fluxo de água; Úmida sem água livre

Persistência, abertura e estado de alteração (ISRM,1978); espaçamento e percolação de água (ABGE, 1983); rugosidade (Barton et al. 1974).

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

É importante salientar que parâmetros como a rugosidade, no caso das rochas da Barragem Taquarembó, estão intimamente relacionados a estruturas de contração que são planares e a granulometria da rocha. Rochas de grão mais finos como Tufos, Lapili Tufos e Lapilitos tendem a apresentar rugosidade do tipo plana lisa a plana ondulada, já rochas de granulometria mais grosseira como Lapili Brechas e Brechas tendem a desenvolver rugosidade do tipo ondulada rugosa e plana rugosa onde a resistência ao cisalhamento tende a ser mais elevada.

Interpretação das Sondagens

As sondagens SME4, SME4A, SME6, SME7, SME8, SME10, SME11 SME12 realizados pela GEOTEC na ombreira esquerda classificam a rocha como riolitos são e alterados. Na análise dos testemunhos de sondagens e na investigação e identificação no local realizada verificou-se que na realidade a rocha predominante é Lapilli-Brecha. A única sondagem que apresentou riolito foi a SME-14 no topo que passa para um Tufo-Brecha na base. Na sondagem SME17 realizada na porção mais elevada a rocha foi classificada com um Lapilito (tamanho de clastos entre 2 e 64mm).

Nas sondagens realizadas na ombreira direita as rochas encontradas foram Brechas, Lapilitos, Lapili-Brechas e Tufo-Brechas numa sequência de variação de tamanho dos piroclastos. Em geral, os piroclastos de maior dimensão localizam-se na base e os de menor dimensão no topo. As sondagens próximas ao arroio (SME03, SME09, SME02) apresentaram tamanhos de piroclastos maiores, indicando um predomínio de Brechas vulcânicas. Devido a grande variação lateral e vertical (tamanho dos piroclastos) as rochas podem classificadas desde tufos (predomínio de cinzas – tamanho inferior a 2mm), lapilitos (predomínio de partículas entre 2 e 64mm) e brechas (tamanho superior a 64mm).

A Figura 3.36 apresenta a seção geológica-geotécnica do eixo do barramento com a interpretação das sondagens e levantamento de campo, que pode ser melhor visualizado no desenho BAR-GEO-03, apresentada no volume de Peças Gráficas.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

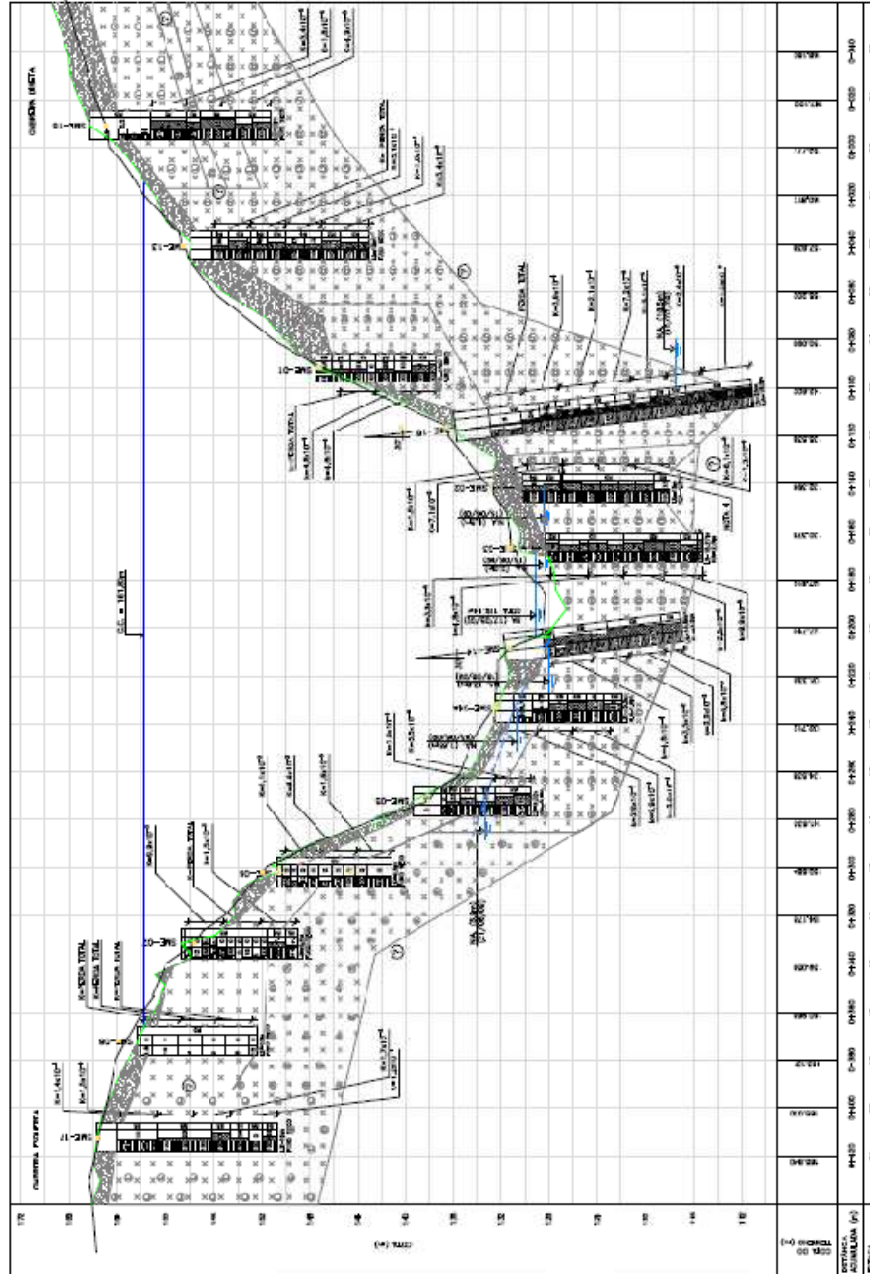


Figura 3.36: Seção geológica-geotécnica do eixo do barramento

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Solos/Materiais de Alteração

Na falha identificada a montante da ombreira esquerda (Figura 3.25 e Figura 3.26), onde foi retirado material de empréstimo para canteiro de obras, encontrou-se um colúvio/tálus de 1m de espessura cor marrom sobre rocha alterada bastante fragmentada – fragmentos tabulares. A rocha alterada é de cor marrom e a rocha mais sã de cor esverdeada (possível alteração hidrotermal).

Na base da encosta da ombreira direita (cota 145) verificou-se a ocorrência de material alterado de textura siltosa a areno-argilosa de coloração variada entre amarelo e vermelho. Este material provavelmente, esta associado à alteração de rochas com uma matriz mais fina, composta por cinzas (tufos) que podem apresentar uma matriz vítrea. A Figura 3.37 apresenta a retirada deste material para utilização em aterros na obra. Em outra escavação próxima ao britador verifica-se o perfil típico de alteração dos materiais na região do entorno do barramento (Figura 3.38).

Nas áreas próximas aos diques dos pontos de Fuga 1 e 2 predominam solos com horizonte A escuro e proeminente sobre material de alteração de cor amarela e textura granular.

A Figura 3.39 mostra um perfil de solo típico de material de alteração próximo da ponte do Passo do Guterrez – RS 603 (área de alagamento). Em geral os solos são Litólicos com cobertura vegetal campestre, cascalhentos, com horizonte superficial proeminente (horizonte A espesso) de cor escura, de textura média a arenosa. Nas áreas mais deprimidas do terreno ocorrem depósitos superficiais, com matéria orgânica, de cor escura, textura areno-argilosa e úmidos. A identificação mais detalhada dos materiais ficou prejudicada pela dificuldade de acesso a grande parte da área a ser alagada.



Figura 3.37: Encosta próxima a ombreira esquerda

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS



Figura 3.38: Escavação próxima ao britador



Figura 3.39: Perfil de alteração típico

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

3.2.4.3 Sismicidade

Os tremores de terra que afetam o território brasileiro, normalmente são superficiais e atingem baixa magnitude. São sentidos em áreas restritas e quase nunca produzem danos materiais graves e vítimas fatais. Em maior ou menor grau acontecem abalos sísmicos em todas as regiões do país.

Por muito tempo, tais eventos foram atribuídos a reflexos de sismos longínquos ou a acomodações de camadas, colapsos de terrenos calcários, etc. Em função do avanço do conhecimento da geologia e da implantação de grandes obras percebeu-se que boa parte dos sismos tem relação direta com os movimentos tectônicos.

Os dados utilizados para avaliação da sismicidade da área de abrangência da Barragem do Taquarembó foram obtidos no site <http://www.obsis.unb.br/>, consultado em 20 de julho 2009 e por meio de registros fornecidos pelo Observatório Sismológico da UnB - Universidade Federal de Brasília. Estes dados foram tratados utilizando-se o *software* ArcGis.

O Observatório Sismológico da Universidade Federal de Brasília gerou um mapa intitulado: Mapa da Sismicidade Natural Brasileira (Figura 3.40) que contém os registros históricos e instrumentais dos sismos com epicentro no Brasil e regiões vizinhas, desde a colonização até o ano de 1981. A partir de então, ele vem sendo atualizado com os dados do Boletim Sísmico Brasileiro, publicado periodicamente na Revista Brasileira de Geofísica.

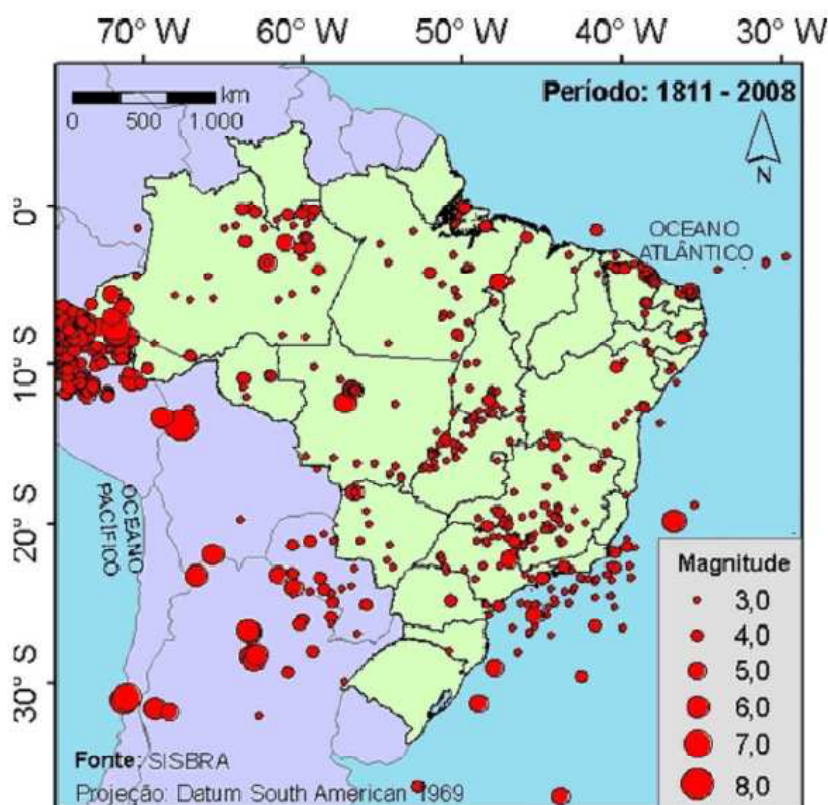


Figura 3.40: Mapa da Sismicidade Natural Brasileira. Fonte SIS-UnB

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

Avaliando-se o mapa da Figura 3.40, pode-se observar que no Estado do Rio Grande do Sul foi registrado somente um sismo de baixa intensidade na região de Aparados da Serra e que, a região da barragem do Taquarembó não apresenta nenhum evento registrado.

Autores como Hasui e Ponçano (1978)¹⁰ avaliaram as áreas de incidência de sismos no Brasil, locais de abalos e epicentros e zonas com grandes falhas, arcos tectônicos, bordas de cratons, rifts, etc. denominadas de geossuturas. Para os autores as geossuturas representam zonas de fraqueza permanente, que são a causa da sismicidade natural observada no País.

Considerando a afirmação dos autores e analisando as estruturas geológicas da área de implantação da barragem do Taquarembó, caso ocorram sismos, estes provavelmente estarão relacionados à geossuturas de grandes dimensões localizadas ao norte do empreendimento, de direção NW e a sul, com direção E-W, conforme mapa geológico regional (Figura 3.41). Estas grandes estruturas estão relacionadas a zonas de cisalhamento transcorrentes e demais estruturas de menor porte paralelas a estas.

Os dados até então disponíveis para esta região mostram que há uma baixa probabilidade de ocorrência de sismos e, caso venham a acontecer estarão relacionados às estruturas de grande porte e estruturas menores, paralelas a estas que ocorrem próximas a área do empreendimento por alívio de tensão ou em consequência do enchimento do reservatório.

¹⁰ HASUI, Y.; PONÇANO, W. L. Geossuturas e Sismicidade no Brasil. In: 2 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1978, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1978. p. 331-338

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

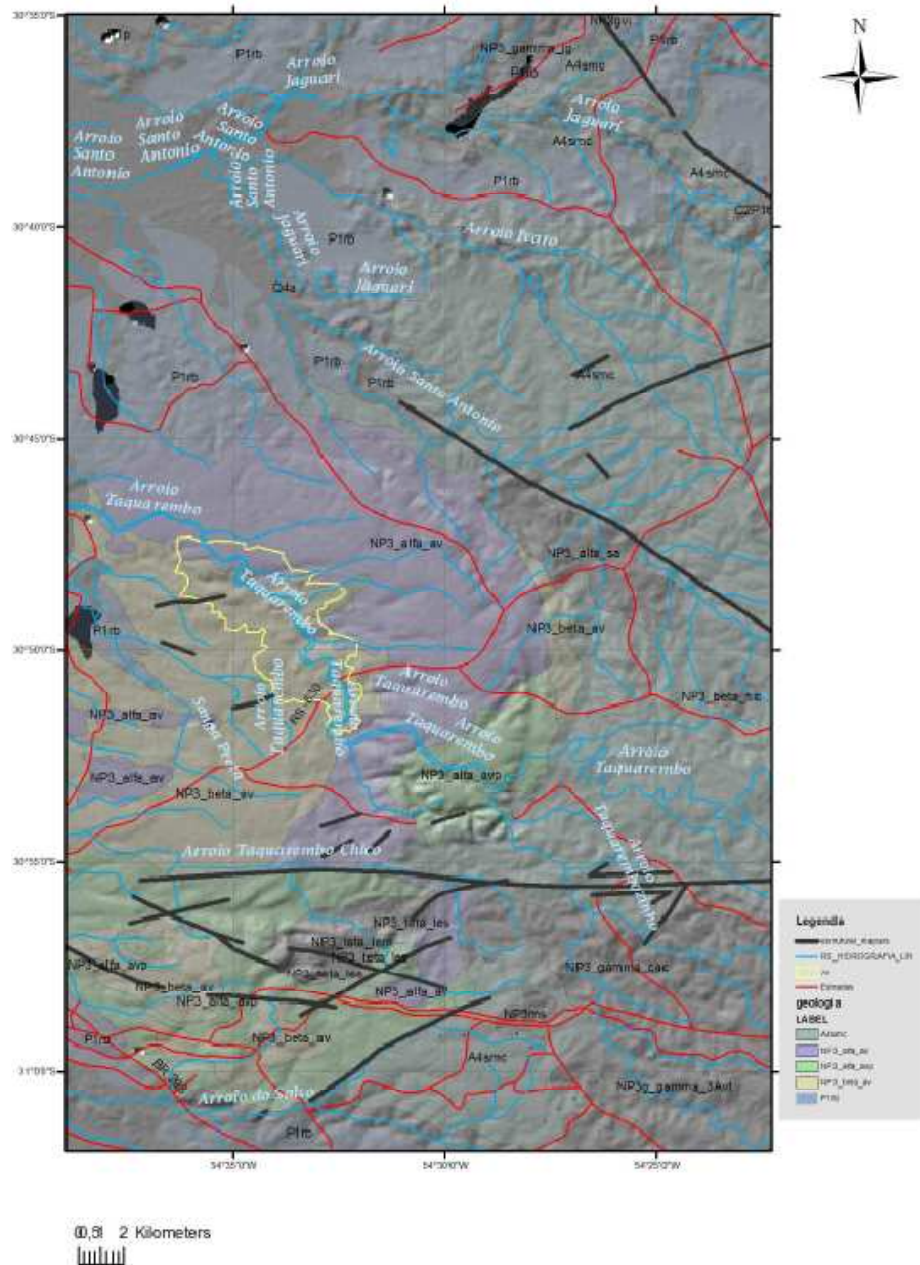


Figura 3.41: Mapa geológico com localização de grandes estruturas próximas ao Arroio Taquarémbo. CPRM (2008)

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

3.2.4.4 Conclusão do Relatório Geológico

O empreendimento localiza-se sobre o Bloco Taquarembó, forma de relevo alongada no sentido leste-oeste onde as rochas mais antigas pertencem ao Complexo Granulítico Santa Maria Chico e ocorrem na porção mais central da área. A leste do empreendimento ocorrem as rochas da Formação Hilário e mais a oeste, onde localizam-se as ombreiras e área de alagamento, predominam as rochas da Formação Acampamento Velho, representadas por riolitos e rochas piroclásticas.

Regionalmente, o lineamento de Ibaré, de direção NW, é uma das principais estruturas transformantes além de outras importantes feições cisalhantes de direção NE localizadas a oeste da área do empreendimento.

Existe uma baixa probabilidade de ocorrência de sismos nesta região, porém, caso venham a ocorrer, estarão relacionados as estruturas de grande porte como as citadas acima que ocorrem próximos a área do empreendimento por alívio de tensão ou em conseqüência do enchimento do reservatório.

Na área de influência da barragem as rochas apresentam-se levemente a moderadamente alteradas e são classificadas como riolitos e predominantemente depósitos de quedas representados por tufos a lapili tufos, lapilitos e subordinadamente por brechas riolíticas ou lapili-brechas

Os fragmentos podem ser líticos, de púmice ou de vidro vulcânico que apresentam diferentes resistências frente à alteração onde púmice e vidro vulcânico tendem a se mostrar mais alterados que os fragmentos líticos.

Nas ombreiras predominam afloramentos em forma de blocos e matacões bem individualizados devido a fragmentação originados pela intersecção das fraturas com as juntas de contração. Depósitos superficiais do tipo colúvio/tálus pouco espessos, localizados a meia e baixa encosta, recobrem as rochas.

Ao longo do eixo da encosta na parte basal ocorrem rochas de granulometria mais grossa como Brechas. Em direção ao topo até meia encosta o tamanho dos fragmentos vai diminuindo (Lapilli-brechas e Lapilitos). Da meia encosta para o topo a gradação volta a se repetir, com Brechas e Lapilitos, sendo que esta última predomina bem no topo da encosta.

Os afloramentos rochosos no geral, tanto na ombreira direita quanto na esquerda apresentam-se medianamente a muito fraturados em virtude da intersecção das juntas de contração cujas atitudes principais variam entre 10° e 45° com mergulhos entre 65° e 85° com as fraturas tectônicas cujas direções principais são: 90° - 120°; 150° - 220°; 150° - 220° e 280° - 330° com mergulhos entre 70° e 85° preferencialmente para SE.

As discontinuidades encontradas na área são feições do tipo abertas, medianamente afastadas a próximas, com rugosidade plana variando de lisa a rugosa em função do tamanho dos piroclastos. Mostram persistência pequena a média e localmente grande e comumente apresentam manchas de oxidação evidenciando a percolação de água.

No local de retirada de material de empréstimo para aterro (próximo ao eixo-ombreira esquerda) foram identificadas duas zonas de falhas: 120° ;70° e 50° ;25° com rocha altamente alterada, praticamente um saprólito. A presença destas falhas pode justificar a baixa resistividade encontrada neste local pelo levantamento geofísico.

Em virtude do sentido geral do mergulho das discontinuidades serem no sentido de SE, o maciço rochoso da ombreira esquerda deverá ter uma atenção especial com relação a deslizamentos planares que tenderão à escorregar em direção ao eixo do arroio. Além disto,

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

devido à intensa fragmentação do maciço é provável a necessidade de um projeto específico de injeção de nata de cimento para vedação das fraturas.

Não foram identificadas jazidas de argila no entorno do barramento, áreas dos diques de fuga e área de alagamento, esta última foi impossibilitado o detalhamento geológico-geotécnico pela dificuldade de acesso a grande parte da área.

Os materiais encontrados principalmente em escavações, possivelmente estão correlacionados a zonas de falha ou a rochas de textura mais fina (tufos). São materiais de alteração de rocha (solo saprolítico) ou rocha alterada em geral com textura relacionada ao tamanho e gênese dos fragmentos.

A identificação de áreas de materiais de alteração que possam ser utilizados para aterros devem considerar os tipos litológicos mais finos em meia encosta e na base das mesmas.

Foram incluídos na interpretação do perfil geológico-geotécnico os tipos litológicos encontrados em campo e reclassificados em descrição de perfis de sondagem. Os riolitos classificados anteriormente foram reavaliados e identificados como Lapilli-Brechas.

Cuidados especiais devem ser tomados em relação aos agregados a serem obtidos na britagem da rocha da pedreira, pois a variação de composição dos piroclastos pode influenciar na resistência a alteração e sanidade dos agregados.

Como complementação ao relatório geológico foi emitido o seguinte parecer:

Jazida de areia para extração de 80.000 m³

A área mais próxima do empreendimento está localizada as margens do rio Santa Maria na cidade de Dom Pedrito. Analisando a área em questão, pode-se constatar que há somente um minerador de areia nesta região que trabalha com sistema de cooperativa, cuja extração mensal não ultrapassa 4.000m³/mês, o que para a demanda da obra é insuficiente.

Segundo informações do responsável pela extração, já tramita junto à FEPAM um processo de licenciamento para retirada de areia do leito do rio utilizando draga ou bomba.

Com base numa análise simplificada das imagens do Google Earth, foram observados vários depósitos de areia na forma de barras em pontal e barras em canal de pequeno volume ao longo do Rio Santa Maria em direção ao município de Rosário do Sul. Desta forma, áreas de extração de maior volume somente são encontradas no município de Rosário do Sul.

A menos que seja liberada a extração de areia em Dom Pedrito e que a cubagem e extração desta área corresponda ao volume necessário para execução da barragem, o empreendedor deverá estudar a viabilidade de obtenção de areia artificial oriunda da britagem das rochas da pedreira.

É importante salientar que, devido a constituição heterogênea dos fragmentos (piroclastos) tanto em gênese quanto em tamanho, estes podem apresentar comportamentos diferentes frente às solicitações mecânicas. Desta forma sugere-se que sejam realizados estudos de caracterização (mineralogia, textura, composição, forma, rugosidade, etc.) com o material britado para sua melhor adequação a finalidade proposta.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

3.3 Estudos Hidroclimatológicos

A revisão dos estudos hidroclimatológicos feitos à época do Projeto Básico se justifica, entre outros fatores, pela atualização das informações com dados coletados desde a realização do mesmo até a presente data. Assim, ampliou-se a série de precipitações observadas, o que alterou a vazão média, sendo necessária uma atualização na série de vazões médias de longo termo.

O fato justifica também a revisão das vazões máximas. Além disso, os estudos foram complementados com a avaliação do aporte de sedimentos ao reservatório, item fundamental na definição do volume útil deste.

3.3.1 Estudo de Precipitações

Para caracterizar as precipitações da bacia hidrográfica determinada pela Barragem do Arroio Taquarembó foi utilizado o posto pluviométrico Torquato Severo (Figura 3.42), operado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), cujos dados foram obtidos junto ao Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível na rede mundial de computadores.

Na análise dos dados, observou-se uma falha de três meses na série de dados de 30 anos. Sendo assim, optou-se por preencher as falhas com os dados de uma estação vizinha, Dom Pedrito (Figura 3.43).

Dados da Estação	
Código	03154003
Nome	TORQUATO SEVERO
Código Adicional	-
Bacia	RIO URUGUAI (7)
Sub-bacia	RIOS URUGUAI, IBICUI E OUTROS (76)
Rio	RIO SANTA MARIA
Estado	RIO GRANDE DO SUL
Município	DOM PEDRITO
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-31:1:43
Longitude	-54:11:4
Altitude (m)	390
Área de Drenagem (km ²)	-

Figura 3.42: Características da Estação Torquato Severo – 03154003



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Dados da Estação	
Código	03054002
Nome	DOM PEDRITO
Código Adicional	-
Bacia	RIO URUGUAI (7)
Sub-bacia	RIOS URUGUAI, IBICUÍ E OUTROS (76)
Rio	RIO SANTA MARIA
Estado	RIO GRANDE DO SUL
Município	DOM PEDRITO
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-30:58:41
Longitude	-54:40:33
Altitude (m)	120
Área de Drenagem (km2)	-

Figura 3.43: Características da Estação Dom Pedrito – 03054002

A Figura 3.44 a seguir apresenta os valores de precipitação média mensal para o posto Torquato Severo, e a Figura 3.45 apresenta os totais anuais de precipitação.

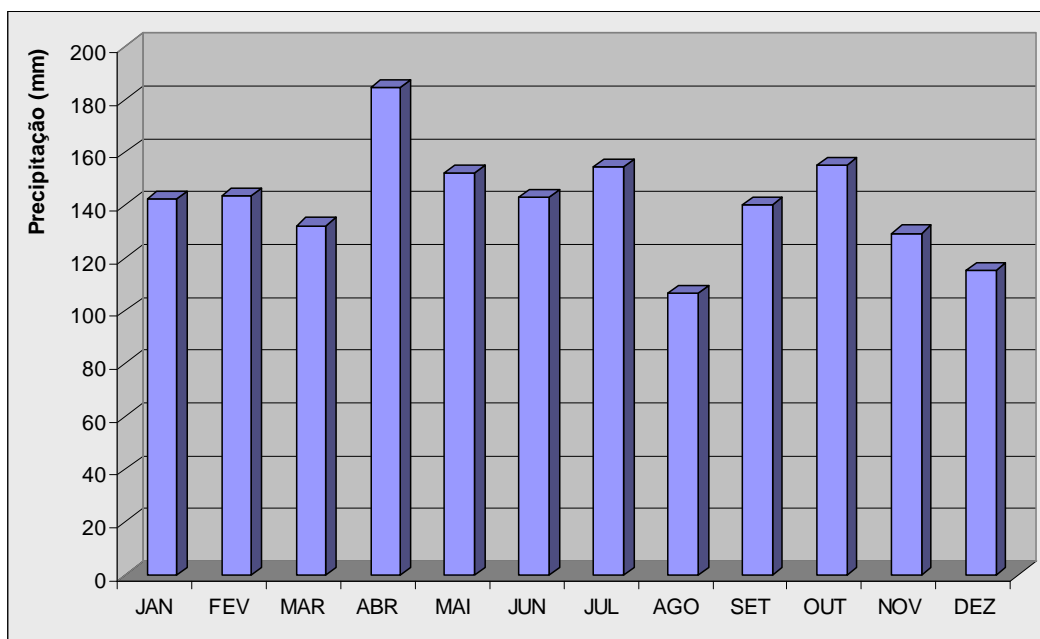


Figura 3.44: Precipitações Médias Mensais – Estação Torquato Severo

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

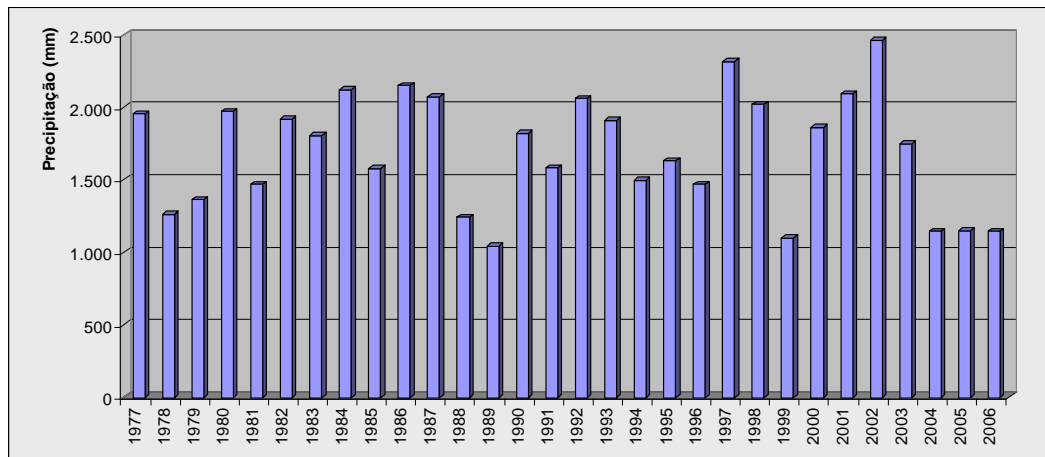


Figura 3.45: Precipitações Totais Anuais – Estação Torquato Severo

3.3.2 Evaporação Média Mensal

A evaporação média mensal empregada para nos estudos hidrológicos basearam nas Normais do INMET de 1961-1990 na estação 83980 (BAGÉ). O Quadro 3.6 apresenta os valores.

Quadro 3.6: Evaporação Média Mensal na Estação 83980 Bagé (INMET: Normais climatológica 1961-1990)

Mês	Evaporação Mensal (mm)
Janeiro	161,3
Fevereiro	122,7
Março	118,7
Abril	92,9
Mai	77,6
Junho	65,1
Julho	73,1
Agosto	86,1
Setembro	93,4
Outubro	118
Novembro	134,1
Dezembro	159,8
Total anual	1.302,8



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

3.3.3 Análise das Vazões de Longo Termo

Para a caracterização do regime fluviométrico, inicialmente avaliou-se a disponibilidade de dados de vazões no local. Foi encontrada a Estação Passo do Guterres (Figura 3.46), localizada no Arroio Taquarembó, a montante do ponto de barramento próxima do mesmo. Entretanto, a estação foi desativada em 1989 e possui uma série de vazões de 13 anos, com muitas falhas. Sendo assim, optou-se por utilizar os dados existentes nesta estação para calibração de um modelo chuva-vazão juntamente com os dados da estação pluviométrica Torquato Severo.

Dados da Estação	
Código	76260000
Nome	PASSO DO GUTERRES
Código Adicional	-
Bacia	RIO URUGUAI (7)
Sub-bacia	RIOS URUGUAI, IBICUI E OUTROS (76)
Rio	ARROIO TAQUAREMBO
Estado	RIO GRANDE DO SUL
Município	LAVRAS DO SUL
Responsável	ANA
Operadora	DESATIVADA
Latitude	-30:50:40
Longitude	-54:32:39
Altitude (m)	160
Área de Drenagem (km2)	577

Figura 3.46: Características da Estação Passo do Guterres – 76260000

3.3.3.1 *Ajuste do Modelo Hidrológico Auto-Calibrável*

O modelo chuva-vazão tem seus parâmetros calibrados em uma bacia que conte com dados simultâneos de precipitações pluviais, estimativas de evapotranspiração potencial e vazões fluviais. Com base nos parâmetros calibrados, pode-se estender o registro de vazões nesta seção fluvial, caso sejam disponíveis registros mais longos de chuvas ou em períodos onde ocorrem falhas nos registros de vazões; ou transferir os parâmetros para outra seção fluvial que disponha de dados de chuvas e ali gerar vazões. Neste estudo, foi utilizado um modelo integrante do Sistema de Apoio SAGBAH, denominado MODHAC – Modelo Hidrológico Auto-calibrável.

O MODHAC é um modelo matemático de simulação da fase terrestre do ciclo hidrológico. Conhecidas séries simultâneas das variáveis motoras deste processo, chuva e evapotranspiração potencial, o modelo computa o armazenamento e a abstração da água na bacia. Na versão atual, o modelo não considera de forma explícita a variabilidade espacial das características fisiográficas, que condiciona o processo hidrológico. Trata-se, portanto, do que é chamado no jargão hidrológico de modelo concentrado. Como o nome diz, o modelo pode ter seus parâmetros calibrados automaticamente de forma a aprimorar um índice de aderência entre as vazões observadas e calculadas.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

O armazenamento da água na bacia é simulado através de 3 (três) reservatórios fictícios que representam a água armazenada superficialmente, a água armazenada sub-superficialmente, no chamado horizonte vegetal do solo, e a água armazenada nas camadas inferiores do solo, incluindo o aquífero subterrâneo. Estes reservatórios são respectivamente denominados reservatório superficial, sub-superficial e subterrâneo.

A abstração de água na bacia ocorre pela evaporação direta da chuva, pela evaporação ou evapotranspiração dos reservatórios superficial e sub-superficial, pelo escoamento superficial e pela infiltração profunda. Esta última variável representa a água que sai da bacia dirigindo-se a outras de maior ordem ou a aquíferos subterrâneos profundos. O escoamento da bacia, observado em seu exutório, é formado pelos escoamentos superficial e subterrâneo. O escoamento superficial é formado pelo escoamento direto somado ao hipodérmico. O escoamento direto é composto pela água pluvial que não é evaporada, nem interceptada pelo reservatório superficial e nem infiltrada no solo. O escoamento hipodérmico é resultado da "recusa à infiltração" causada pela saturação do reservatório sub-superficial. O escoamento subterrâneo resulta das percolações à superfície dos reservatórios sub-superficial e subterrâneo. Este escoamento subterrâneo é o resultado da composição de dois tipos de aquíferos com coeficientes distintos de escoamento. Os escoamentos são propagados ao exutório da bacia de forma extremamente simplificada. Admite-se um tempo de trânsito constante para cada tipo de escoamento, representando a demora entre o intervalo de tempo de sua formação e o intervalo em que é anotado no exutório da bacia.

O MODHAC é esquematicamente apresentado na Figura 3.47. Na descrição que segue será inicialmente apresentada uma supervisão da dinâmica do modelo. O objetivo desta parte é dar uma idéia geral da inter-relação dos diversos algoritmos que simulam os processos naturais do ciclo hidrológico.

A chuva precipitada passa inicialmente por um filtro de ajuste que tem por função a introdução de correções de erros de observação originados na baixa densidade de pluviômetros na bacia. O volume corrigido de chuva alimenta inicialmente a evapotranspiração potencial, até ser anulado ou saciá-la. Estabelece-se que até um dado percentual da evapotranspiração potencial poderá ser suprida por esta via. A evapotranspiração potencial remanescente deverá ser suprida pela umidade na bacia. No caso da chuva ser anulada pela evaporação, a bacia se encontra no estágio de ressecamento. Na outra situação o estágio é de umedecimento.

No estágio de ressecamento a água remanescente no reservatório superficial é inicialmente usada para suprir a evapotranspiração potencial remanescente. Em seguida é executada a percolação da água do reservatório superficial para o sub-superficial. Caso a evapotranspiração potencial não estiver inteiramente suprida, a água armazenada no reservatório sub-superficial passará a ser apropriada para tal.

Em sequência, haverá a percolação da água armazenada nos reservatórios sub-superficial e subterrâneo para a superfície, dando origem ao escoamento subterrâneo ou de base.

No estágio de umedecimento, havendo ainda evapotranspiração potencial remanescente, ela será suprida pela umidade da bacia, representada através de armazenamento nos reservatórios fictícios superficial e sub-superficial. A chuva remanescente após a evapotranspiração ter sido total ou parcialmente suprida é interceptada pelo reservatório superficial, até enchê-lo. O extravasamento deste reservatório passa por um processo superficial de separação, que o dividirá entre uma parcela que formará o escoamento superficial direto e outra que será infiltrada.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

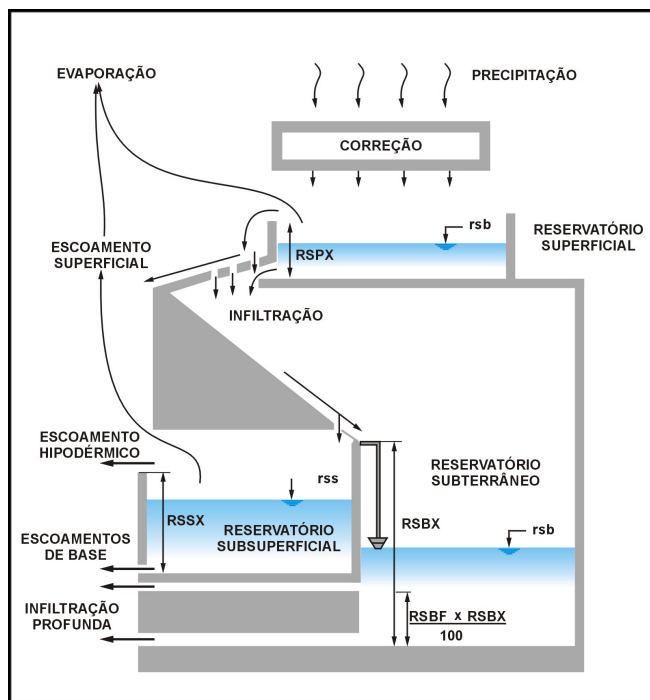


Figura 3.47: Esquema conceitual do Modhac

À água infiltrada, soma-se à percolação do reservatório superficial. O volume resultante passa por um processo de separação sub-superficial que o distribuirá entre o reservatório sub-superficial e subterrâneo. Na eventualidade do reservatório sub-superficial encher, seu extravasamento dará lugar à "recusa à infiltração" que formará o escoamento hipodérmico suplementando o escoamento superficial direto.

Como na fase de ressecamento, a sequência final será a percolação dos reservatórios sub-superficial e subterrâneo, formando o escoamento subterrâneo ou de base. Os escoamentos superficial e subterrâneo são propagados de forma simplificada até o exutório da bacia.

Dessa forma, o MODHAC, com todas essas considerações mencionadas, apresenta uma possibilidade de calibração de até 14 parâmetros. Entretanto, busca-se sempre reduzir este número, procurando-se alcançar, pelo uso do princípio da parcimônia, uma maior robustez nos mecanismos que emulam os processos simulados, possibilitando sua transferência no espaço e no tempo com maior estabilidade.

Preliminarmente à geração de séries de vazões a partir de dados de precipitação e evapotranspiração, tornou-se necessária a calibração dos parâmetros já mencionados anteriormente. Para tanto, foram selecionados postos ao longo da bacia que permitissem que a operação de calibração fosse realizada para suas bacias incrementais e, posteriormente, pudessem ser transferidos aos locais de interesse.

A seguir os parâmetros serão resumidos, classificados quanto à suas sensibilidades e suas faixas de variação sugeridas.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

Os seguintes parâmetros são aqueles que mais afetarão o ajuste do modelo:

- **RSPX:** capacidade máxima do reservatório superficial. Sua faixa de variação é de 0 a 60 mm. Valores mais baixos ocorrerão em bacias com solos permeáveis e vegetação rala. Já a presença de açudes, depressões e zonas impermeáveis tenderão a aumentar os valores. É responsável pelo retardo na resposta do escoamento superficial à ocorrência de chuvas.
- **RSSX:** capacidade máxima do reservatório sub-superficial. Sua faixa de variação é de 20 a 300 mm, com intervalos de computação diários, atingindo o limite superior em solos arenosos. Para intervalos de computação mensal valores superiores poderão ser obtidos, devido ao processo contínuo de enchimento e esvaziamento deste reservatório dentro de um mês. Existe dependência de seu valor com a capacidade de retenção de água nas camadas superiores do solo onde ocorre atividade vegetal relevante, ou seja, em torno de uns 30 a 50 cm. Seu efeito é estabelecer um aumento da abstração de água por evapotranspiração e na sustentação dos escoamentos durante curtos períodos de estiagem.
- **RSBX:** capacidade máxima do reservatório subterrâneo. Sua faixa de variação vai de 0 a 300 mm em intervalos de computação diários. Para intervalos mensais valores superiores poderão ser encontrados. Valores nulos indicam a inexistência deste reservatório e serão justificados em bacias sem aquíferos subterrâneos relevantes. Este é o caso das bacias do semi-árido do Nordeste do Brasil assentadas em subsolo cristalino fraturado. Este parâmetro afeta a sustentação de escoamentos durante longos períodos de estiagem. Em bacias onde são observados períodos com escoamentos nulos este parâmetro deverá ser nulo ou próximo a zero. Bacias com subsolo sedimentar conduzem a valores na faixa superior.

Os seguintes parâmetros são medianamente sensíveis:

- **IMIN:** infiltração mínima. Tem um efeito análogo ao do parâmetro RSPX, no sentido de aumentar o retardo da resposta do escoamento superficial às chuvas. Portanto, ele é mais efetivo em intervalos diários de computação onde este retardo pode ser observado de forma significativa. No entanto, seu incremento diminui o escoamento superficial direto enquanto aumenta o hipodérmico e o subterrâneo. Portanto, ele deve ser usado para transladar os escoamentos no tempo. Sua faixa de variação é de 0 a 10 mm, sendo maior em solos permeáveis.
- **IDEC:** coeficiente de infiltração. Varia entre zero e 1. O valor 0,5 para IDEC usualmente apresenta bons resultados em uma primeira calibragem. Valores próximos a zero farão IMIN virtualmente convergir para IMAX, sendo representativos de bacias de solo homogêneo com chuvas bem distribuídas temporal e espacialmente.
- **ASBX:** expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo, quando seu armazenamento for superior a RSBY. Haverá cogitação sobre o valor deste parâmetro apenas quando o valor de RSBX for não nulo. Sua faixa de variação será de valores próximos a zero (0,001 por ex.) a 0,1, quando o intervalo de computação for diário. Este parâmetro ajusta o escoamento subterrâneo. Seu aumento tem o efeito de antecipar o escoamento e sua diminuição de transladá-lo para o futuro.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

- **CHOM:** este parâmetro representa a fração da evapotranspiração potencial (ETP) que é suprida diretamente da chuva. Em intervalo diário de computação seu valor tende a ser unitário significando que toda ETP pode ser suprida desta forma, havendo chuva suficiente. Ao se adotar intervalo mensal de computação, valores ao redor de 0,9 poderão ser obtidos. Ele é um parâmetro de homogeneidade temporal da chuva: quando maior for, mais constantemente distribuída no intervalo de computação é suposta ser a chuva. Em situações em que a chuva se concentra em poucos dias do mês e sendo adotado o intervalo mensal de computação, os dias secos determinarão parcelas de ETP não supridas diretamente, explicando um valor remanescente de ETP, mesmo a chuva total mensal superando a ETP inicial. O efeito deste parâmetro é aumentar o volume total de água escoado na bacia.

Os parâmetros menos sensíveis são:

- **IMAX:** permeabilidade do solo. Sua faixa de variação vai de 20 a 100 mm em intervalos diários de computação. É responsável pela atenuação do escoamento superficial direto. Seu valor aumenta em solos permeáveis. Em bacias de grande área, heterogêneas nas suas características e nas das chuvas que ocorrem, este parâmetro poderá não interferir na calibração. Seu valor ótimo estará na faixa em que ele se torna totalmente insensível, quando então o algoritmo de separação superficial da chuva remanescente será controlado pelos parâmetros IMIN e IDEC. Ou seja, na situação em que PMAX será tal que superará o valor das chuvas remanescentes mais altas ocorridas na bacia. Neste caso, em nenhum momento ocorrerá a estabilização da infiltração em seu valor máximo, igual a IMAX. Isso é explicado pela heterogeneidade da bacia que, por seu porte, nunca estará em qualquer local com as mesmas condições de saturação da camada superficial do solo. Em bacias menores e em regiões de chuvas homogeneamente distribuídas no espaço, poderá existir a situação em que este parâmetro apresente sensibilidade. O mesmo ocorre ao se adotar intervalo mensal de computação, particularmente quando IMIN e IDEC forem nulos.
- **CEVA:** parâmetro da lei de evapotranspiração do solo. Valores próximos a 1 aumentarão a abstração de água da bacia por evapotranspiração. Este poderá ser o caso de pequenas bacias com solos homogêneos em regiões tropicais semi-áridas. Regiões mais temperadas com boa cobertura vegetal farão o expoente aproximar-se de zero. Valores próximos a zero poderão também ser encontrados em grandes bacias com alto grau de heterogeneidade pedológica, independente do clima. Um valor baixo, da ordem de 0,3 costuma conduzir a resultados razoáveis no início da calibração.
- **ASP:** expoente da lei de esvaziamento do reservatório superficial. O aumento deste parâmetro colabora com o retardo da resposta dos escoamentos à ocorrência de chuvas. Um valor baixo ou nulo como ponto de partida deve ser usado nas fases iniciais de calibração.
- **ASS:** expoente da lei de esvaziamento do reservatório sub-superficial. Seu efeito é transladar o escoamento hipodérmico no tempo. Uns valores baixos, iguais a 0,005, pode ser uma boa tentativa nas fases iniciais de calibração.
- **TS:** tempo de trânsito do escoamento superficial. Seu valor deverá ser fixado na dependência do tempo de concentração estimado da bacia. Em geral, afeta muito



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

pouco os resultados da simulação quando o intervalo de computação é o diário e o de simulação o mensal.

- TB: tempo de trânsito do escoamento subterrâneo. Mesmos comentários relativos a TS se aplicam. Normalmente, TB > TS.

Os seguintes parâmetros deverão ser usados em uma fase final de calibração, procurando obter convergência entre os volumes totais de escoamentos calculados e observados, quando ela não puder ser obtida com ajuste dos parâmetros anteriores:

- PRED: correção da precipitação. Nos casos em que existe uma boa densidade de pluviômetros na bacia este parâmetro deverá ser fixado com o valor 999 e não haverá correção da precipitação. Nos outros casos deverá ser verificado se as precipitações medidas sub ou superestimam os valores reais. No caso de superestimativa PRED deverá ser positivo. No outro caso, negativo. Seu ajuste deverá ser conduzido após os parâmetros mais sensíveis, listados previamente, terem sido pré-ajustados e quando for confirmada a hipótese de inconsistência das precipitações medidas.
- RSBF: armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo ao escoamento de base. Este parâmetro é dado em porcentagem da capacidade do reservatório subterrâneo. Logo, seu valor varia entre 0 e 100. Este parâmetro influencia as simulações de forma idêntica ao parâmetro PRED, de ajuste de chuva, quando este último for positivo. Ou seja, ele diminui os escoamentos da bacia. Seu uso deverá ser cogitado quando houver um excesso de escoamento calculado em conjunto com boa consistência dos dados pluviométricos. O uso efetivo, porém, deve ocorrer quando houver evidências de que a bacia é assentada em subsolo cristalino com relevante sistema de fraturas ou no Karst.

Em conclusão, existem dois parâmetros que apenas em situações especiais serão calibrados: PRED e RSBF. Dois outros têm sua calibração realizada de forma banal: TS e TB. Em bacias assentadas sobre subsolo cristalino no Nordeste do Brasil, os parâmetros RSBX, ASB e RSBF terão valor nulo. Com isto, para esta região, sobram 7 parâmetros a calibrar. Em alguns casos se verá que o parâmetro IMAX poderá ter valor fixado a priori e o parâmetro ASP poderá ser considerado nulo, restando apenas 5 parâmetros na calibração.

3.3.3.2 Funções-objetivo para ajuste

Quatro tipos de função-objetivo poderão ser considerados na calibração na versão computacional do MODHAC. Cada tipo orienta a calibração dos parâmetros no sentido de obter a melhor aderência das vazões calculadas às observadas, de acordo com um critério específico. As funções-objetivo são descritas a seguir.

- Tipo 1: Função tipo soma do quadrado dos erros de ajuste

Esta função conduz a um ajuste de "mínimos quadrados". Ela é computada como o percentual da variação não explicada pelo modelo em relação à variação total das vazões observadas em torno da média:

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

$$\{F-O\}_1 = 100 \cdot \frac{\sum_{t=IQS+1,M} [Q_o(t) - q_c(t)]^2}{\sum_{t=IQS+1,M} [Q_o(t) - q_{om}]^2}$$

onde $\{F-O\}_1$ é a função-objetivo do tipo 1, $\sum_{t=IQS+1,M}$ é somatório entre o intervalo IQS+1 até o intervalo M, sendo IQS o número de intervalos no período de aquecimento e M o número de intervalos do período de observações, $Q_o(t)$ são as vazões observadas, $q_c(t)$ são as vazões calculadas, q_{om} é a média das vazões observadas fora do período de aquecimento.

Note-se que o valor $1 - \{F-O\}_1$ é o chamado coeficiente de determinação do ajuste.

- Tipo 2: Função tipo soma do quadrado dos erros com fator de modulação

Este tipo de função divide a cada intervalo de computação o quadrado do erro de ajuste pela média entre a vazão calculada e a observada. A equação de computação é:

$$\{F-O\}_2 = \sum_{t=IQS+1,M} \{ [Q_o(t) - q_c(t)]^2 / [Q_o(t) + q_c(t)] / 2 \}$$

- Tipo 3: Função tipo soma do valor absoluto dos erros de ajuste

Esta função diferencia-se da função mínimos quadrados por considerar o valor absoluto dos erros em vez de seu quadrado. Sua equação é:

$$\{F-O\}_3 = \sum_{t=IQS+1,M} \{ |Q_o(t) - q_c(t)| \} / \{ \sum_{t=IQS+1,M} [Q_o(t) - q_{om}]^2 \}^{1/2}$$

A divisão pela raiz quadrada da soma dos desvios quadráticos em relação à média visa ao estabelecimento de um valor adimensional.

- Tipo 4: Função tipo soma dos erros de ajuste dos logaritmos das vazões

Esta função, é similar à do tipo 1. Apenas em vez de ser calculada com os valores de vazões observadas e calculadas, trabalha-se com seus logaritmos. Sua equação é:

$$\{F-O\}_4 = 100 \cdot \frac{\sum_{t=IQS+1,M} \{ \text{Log}[Q_o(t)] - \text{Log}[q_c(t)] \}^2}{\sum_{t=IQS+1,M} \{ \text{Log}[Q_o(t)] - q_{\log om} \}^2}$$

sendo $q_{\log om}$ a média dos logaritmos dos valores observados de vazões. Para evitar indeterminações quando da ocorrência de vazões nulas, todas elas são simplesmente somadas ao valor 0,0001 previamente ao cálculo dos logaritmos.

A função tipo mínimos quadrados tende a estabelecer uma melhor aderência no período úmido do hidrograma do que à estiagem. Para se ilustrar isso, suponha-se que sejam observadas vazões 100 e 1, respectivamente em período úmido e seco. Os valores calculados seriam respectivamente 110 e 10. Houve, no caso, uma superestimativa de 10 % na vazão alta e de 1000 % na vazão baixa. Em termos da soma dos quadrados dos erros, porém, a contribuição do primeiro erro é de $(100-110)^2 = 100$ e a do segundo é de $(1-10)^2 = 81$. Com isso, o enfoque da calibração será dirigido à obtenção de um melhor ajuste das vazões altas que às vazões baixas, em termos relativos ou percentuais.

Na segunda função o problema descrito previamente é anulado. No caso ilustrado, a contribuição à função-objetivo será de $(100-110)^2 / [(100+110)/2] = 100/105 = 0,95$ no primeiro caso e $(1-10)^2 / [(1+10)/2] = 81/5,5 = 14,7$ no segundo. Logo, a calibração buscará um melhor ajuste, em termos percentuais, às vazões de estiagem. Outra característica desta função é a de atribuir grande relevância ao ajuste quando as vazões observadas forem nulas. Caso em vez de

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

1 tenha sido observado 0 e calculado 10 na estiagem, a contribuição à função objetivo será agora de $(0-10)^2 / [(0+10)/2] = 100/5 = 20$. Isso faz com que esta função estabeleça uma melhor aderência às vazões de estiagem e às situações de rio "cortado", ou seja, sem vazão, típicas de clima semi-árido. Por isto ela é recomendável para uso na região semi-árida do Nordeste do Brasil.

A terceira função estabelece uma condição intermediária de ajuste entre as duas anteriores. No caso, a contribuição é proporcional ao erro relativo ou percentual. Na ilustração realizada, a contribuição à função-objetivo será de $|100 - 110| = 10$ e $|1 - 10| = 9$ respectivamente, no período úmido e seco.

Na quarta função estabelece-se uma maior preocupação no ajuste das mínimas. No caso das vazões maiores no caso exemplificado a contribuição à função-objetivo será $\{\text{Log}[100] - \text{Log}[110]\}^2 = 0,764$. Para as vazões menores será $\{\text{Log}[1] - \text{Log}[10]\}^2 = 1,0$.

3.3.3.3 Resultado da Calibração

Para calibração foram utilizados dados diários e passo de simulação diário. A estimativa dos parâmetros do modelo foi feita através da calibração automática do mesmo, partindo de valores aproximados arbitrados inicialmente. No Quadro 3.7 são apresentados os parâmetros de calibração do modelo.

Quadro 3.7: Parâmetros de calibração do modelo MODHAC para a estação Passo do Guterres

Parâmetros MODHAC													
RSPX	RSSX	RSBX	RSBY	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	ASBX	ASBY	PRED	CEVA	CHET
120	104,7	270,4	4	85,16	4,688	0,05033	0,01386	0,7158	0,9	1	999	0	0

Os resultados em termos gráficos podem ser observados na Figura 3.48 e na Figura 3.49.

Com os parâmetros do modelo calibrados, procedeu-se a simulação para ampliação da série da estação Passo do Guterres e posteriormente fez-se a extrapolação até o ponto do barramento através de proporcionalidade de área.

Observa-se que a área da bacia da Estação Passo do Guterres é de 577,78 km², aferida no software Arcview com delimitação da bacia baseada em cartas topográficas em escala 1:50.000, e a área da bacia da barragem do Arroio Taquarembó é de 637,99 km², determinada da mesma forma.

O Quadro 3.8 apresenta a série de vazões médias mensais afluentes ao reservatório e o Quadro 3.9 apresenta as vazões médias mensais afluentes à barragem do Arroio Taquarembó e a vazão média anual. A curva de permanência das vazões está apresentada na Figura 3.50.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

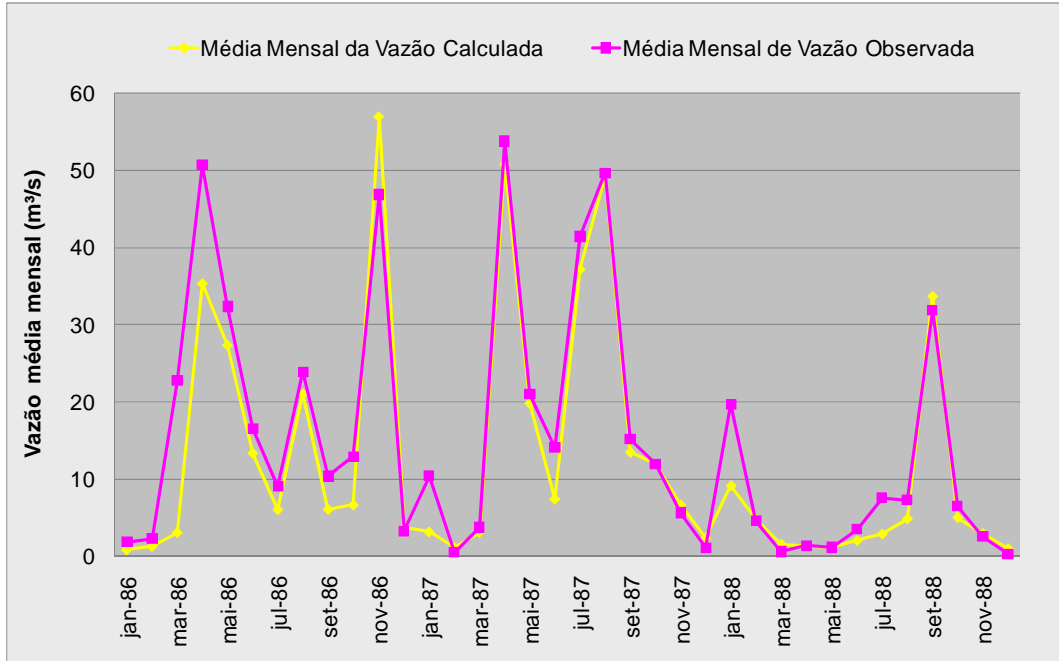


Figura 3.48: Resultado da calibração do Modhac para o período de vazões conhecidas

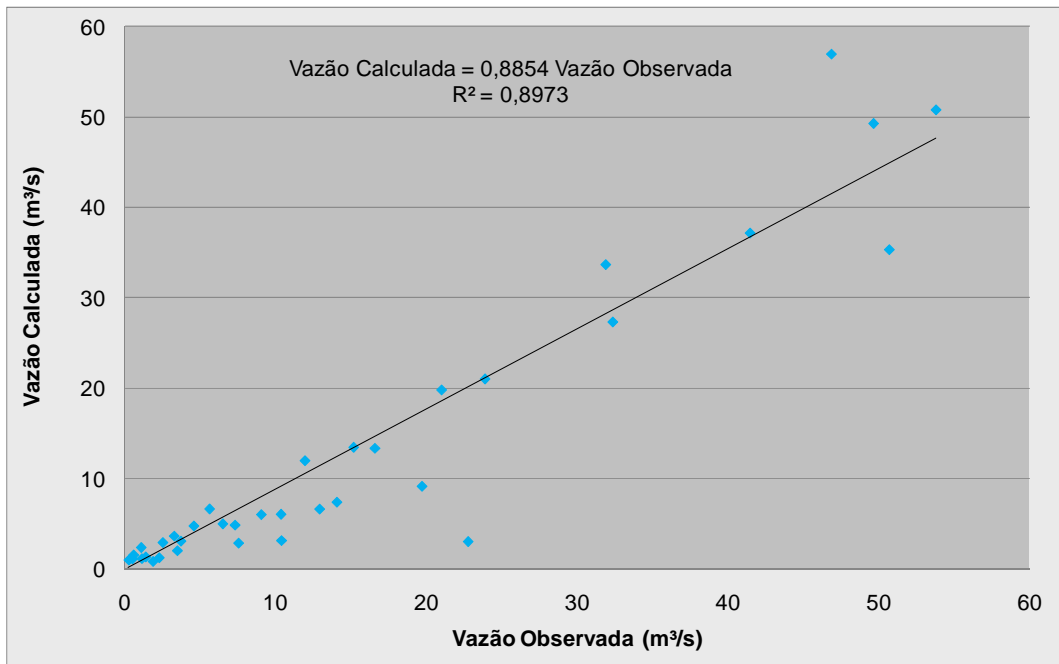


Figura 3.49: Relação entre as vazões observadas e calculadas no Modhac

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 3.8. Série de vazões médias mensais afluentes ao reservatório

Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia
jan-78	2,05	jan-80	0,17	jan-82	0,42	jan-84	40,92	jan-86	2,06	jan-88	21,74	jan-90	0,22	jan-92	1,54	jan-94	2,33	jan-96	20,39
fev-78	3,57	fev-80	2,56	fev-82	11,51	fev-84	7,77	fev-86	2,51	fev-88	5,05	fev-90	31,30	fev-92	5,49	fev-94	11,66	fev-96	13,39
mar-78	0,78	mar-80	4,96	mar-82	2,58	mar-84	9,86	mar-86	25,12	mar-88	0,63	mar-90	41,27	mar-92	4,51	mar-94	5,00	mar-96	8,14
abr-78	0,38	abr-80	30,39	abr-82	0,32	abr-84	17,04	abr-86	55,97	abr-88	1,51	abr-90	28,04	abr-92	77,82	abr-94	3,51	abr-96	43,01
mai-78	3,88	mai-80	5,00	mai-82	25,21	mai-84	78,88	mai-86	35,72	mai-88	1,24	mai-90	10,16	mai-92	35,91	mai-94	10,89	mai-96	5,78
jun-78	6,96	jun-80	57,40	jun-82	15,65	jun-84	53,06	jun-86	18,30	jun-88	3,84	jun-90	8,90	jun-92	57,05	jun-94	11,23	jun-96	2,44
jul-78	47,87	jul-80	33,22	jul-82	39,43	jul-84	32,76	jul-86	9,98	jul-88	8,32	jul-90	7,30	jul-92	23,83	jul-94	31,88	jul-96	2,22
ago-78	10,19	ago-80	14,47	ago-82	32,10	ago-84	9,80	ago-86	26,37	ago-88	8,06	ago-90	2,93	ago-92	15,54	ago-94	25,77	ago-96	4,54
set-78	4,97	set-80	3,05	set-82	37,00	set-84	4,41	set-86	11,43	set-88	35,20	set-90	2,92	set-92	15,26	set-94	6,21	set-96	8,22
out-78	2,07	out-80	55,27	out-82	39,79	out-84	7,55	out-86	14,02	out-88	7,16	out-90	5,61	out-92	8,61	out-94	6,41	out-96	4,30
nov-78	2,19	nov-80	12,14	nov-82	32,09	nov-84	2,53	nov-86	51,97	nov-88	2,77	nov-90	27,71	nov-92	2,84	nov-94	6,73	nov-96	0,77
dez-78	3,67	dez-80	6,92	dez-82	1,84	dez-84	0,23	dez-86	3,61	dez-88	0,17	dez-90	18,59	dez-92	0,98	dez-94	1,34	dez-96	1,54
jan-79	0,05	jan-81	4,41	jan-83	2,22	jan-85	1,14	jan-87	11,46	jan-89	2,49	jan-91	1,16	jan-93	5,51	jan-95	0,85	jan-97	2,02
fev-79	0,64	fev-81	38,80	fev-83	51,22	fev-85	0,29	fev-87	0,55	fev-89	3,53	fev-91	0,43	fev-93	1,94	fev-95	13,78	fev-97	54,72
mar-79	0,49	mar-81	1,54	mar-83	10,22	mar-85	15,41	mar-87	4,10	mar-89	0,55	mar-91	1,86	mar-93	0,17	mar-95	26,86	mar-97	2,59
abr-79	5,16	abr-81	1,27	abr-83	5,84	abr-85	30,84	abr-87	59,39	abr-89	3,88	abr-91	80,53	abr-93	1,06	abr-95	3,46	abr-97	1,66
mai-79	3,86	mai-81	21,19	mai-83	24,07	mai-85	12,90	mai-87	23,18	mai-89	1,59	mai-91	8,32	mai-93	60,95	mai-95	10,00	mai-97	30,84
jun-79	2,60	jun-81	10,01	jun-83	29,81	jun-85	19,15	jun-87	15,52	jun-89	0,29	jun-91	10,29	jun-93	40,38	jun-95	9,97	jun-97	41,21
jul-79	7,59	jul-81	12,58	jul-83	39,37	jul-85	24,60	jul-87	45,77	jul-89	3,00	jul-91	22,47	jul-93	16,15	jul-95	91,42	jul-97	29,31
ago-79	33,37	ago-81	7,01	ago-83	12,60	ago-85	41,79	ago-87	54,82	ago-89	5,11	ago-91	7,45	ago-93	11,05	ago-95	10,13	ago-97	9,02
set-79	25,97	set-81	22,95	set-83	4,19	set-85	40,22	set-87	16,53	set-89	8,19	set-91	3,88	set-93	5,03	set-95	6,43	set-97	7,03
out-79	18,67	out-81	4,30	out-83	8,51	out-85	5,70	out-87	13,39	out-89	3,35	out-91	7,06	out-93	24,68	out-95	5,22	out-97	27,65
nov-79	10,18	nov-81	4,78	nov-83	1,93	nov-85	0,77	nov-87	6,19	nov-89	3,18	nov-91	3,64	nov-93	25,63	nov-95	1,67	nov-97	21,18
dez-79	5,33	dez-81	1,28	dez-83	1,46	dez-85	0,36	dez-87	1,19	dez-89	0,87	dez-91	3,32	dez-93	20,47	dez-95	0,72	dez-97	58,16

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia	Mês/Ano	Qmédia
jan-98	28,53	jan-99	0,55	jan-00	0,47	jan-01	2,02	jan-02	0,95	jan-03	3,54	jan-04	0,91	jan-05	1,69	jan-06	3,46		
fev-98	15,83	fev-99	1,79	fev-00	3,25	fev-01	0,78	fev-02	5,31	fev-03	3,86	fev-04	4,44	fev-05	0,35	fev-06	0,40		
mar-98	20,27	mar-99	0,28	mar-00	5,61	mar-01	6,78	mar-02	17,36	mar-03	27,96	mar-04	0,26	mar-05	0,39	mar-06	0,37		
abr-98	33,78	abr-99	8,70	abr-00	5,52	abr-01	42,60	abr-02	54,51	abr-03	24,13	abr-04	7,09	abr-05	20,92	abr-06	1,09		
mai-98	25,96	mai-99	4,01	mai-00	56,59	mai-01	19,33	mai-02	15,41	mai-03	33,45	mai-04	25,80	mai-05	14,80	mai-06	2,29		
jun-98	52,44	jun-99	11,10	jun-00	40,04	jun-01	57,45	jun-02	43,00	jun-03	29,92	jun-04	9,10	jun-05	7,61	jun-06	8,45		
jul-98	21,05	jul-99	11,45	jul-00	42,85	jul-01	24,04	jul-02	22,48	jul-03	9,04	jul-04	10,14	jul-05	8,74	jul-06	11,50		
ago-98	39,50	ago-99	9,27	ago-00	6,93	ago-01	5,87	ago-02	44,14	ago-03	6,65	ago-04	8,44	ago-05	5,15	ago-06	13,36		
set-98	11,56	set-99	11,75	set-00	24,64	set-01	62,97	set-02	36,86	set-03	4,15	set-04	7,35	set-05	16,89	set-06	14,83		
out-98	4,63	out-99	12,86	out-00	11,60	out-01	23,95	out-02	28,35	out-03	1,74	out-04	3,50	out-05	16,01	out-06	3,38		
nov-98	1,38	nov-99	1,44	nov-00	5,06	nov-01	5,89	nov-02	8,65	nov-03	3,50	nov-04	3,54	nov-05	1,17	nov-06	1,94		
dez-98	1,23	dez-99	0,49	dez-00	0,94	dez-01	2,66	dez-02	42,64	dez-03	6,51	dez-04	0,61	dez-05	0,18	dez-06	2,57		

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 3.9: Vazões médias mensais afluentes à barragem do Arroio Taquarembó

Mês	Q (m³/s)
Janeiro	5,70
Fevereiro	10,20
Março	8,48
Abril	22,39
Maio	20,94
Junho	23,21
Julho	23,81
Agosto	16,60
Setembro	15,86
Outubro	12,94
Novembro	8,74
Dezembro	6,55
Anual	14,62

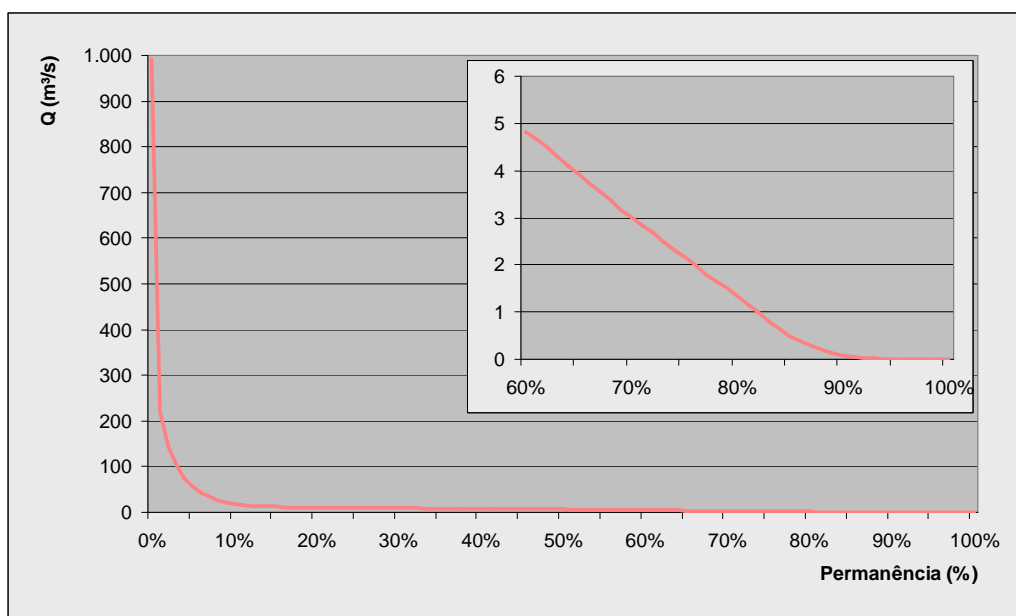


Figura 3.50: Curva de permanência das vazões afluentes ao reservatório

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

3.3.4 Definição de Vazões Mínimas Remanescentes

O uso das águas no reservatório da Barragem Taquarembó para irrigação prevê a derivação, já no pé da estrutura, de um canal de adução que captará a demanda para o referido uso.

Dessa maneira torna-se imperativo determinar a vazão efluente da barragem ao longo do ano que possa atender as necessidades de manutenção da ecossistema aquático e entorno.

Tem sido praxe pelo órgão ambiental estadual enquadrar derivações do rio por Pequenas Centrais Hidrelétricas em classes diferenciadas para determinação de vazões remanescentes. Segundo consulta a FEPAM, dependendo do uso consuntivo a jusante, a vazão remanescente pode ficar em torno da vazão com 90% ou 95% de permanência diária.

Avaliando esse valores considera-se ainda um valor insuficiente para alimentar os critérios técnicos de alimentação do mecanismo de transposição de peixes (MTP) a ser instalado na ombreira direita da barragem. Então, o valor mínimo recomendado e adota será igual a 0,5 m³/s, compatível com as demandas do MTP.

3.3.5 Estudo do Aporte de Sedimentos e Definição do Volume Inativo

Em prosseguimento apresenta-se a definição do volume inativo e distribuição do volume de sedimentos ao longo do reservatório.

3.3.5.1 *Volume de sedimentos afluentes*

Os estudos sedimentológicos foram realizados com o objetivo de analisar a vida útil do reservatório. A estimativa da produção anual de sedimentos foi feita com base nos dados existentes de concentração de sedimentos na estação fluviométrica Rosário do Sul (76310000), perto de Dom Pedrito, operada pela ANA – Agência Nacional de Águas, visto que a estação Passo do Guterres não disponibiliza dados dessa natureza.

Vale destacar que diferença de área de drenagem entre as estações supracitadas é substancial. Contudo, estima-se que a produção de sedimentos da bacia hidrográfica da estação fluviométrica Rosário do Sul é superior que a do Passo do Guterres, portanto, as estimativas estarão a favor da segurança.

A Figura 3.51 apresenta a avaliação de produção específica em função da vazão na estação Rosário do Sul. O ajuste encontrado foi empregado na série de vazões da barragem e assim calculou-se a série de sedimentos em suspensão afluente no reservatório.

A descarga sólida do leito, conforme com ICOLD (1989), pode ser obtida por um fator de correção ilustrado no Quadro 3.10. Adotou-se um fator de 15%, isto é o limite superior da condição 4, o que corresponde a material do fundo do leito igual a rocha.

A carga total de sedimentos por ano está apresentada no Quadro 3.11.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

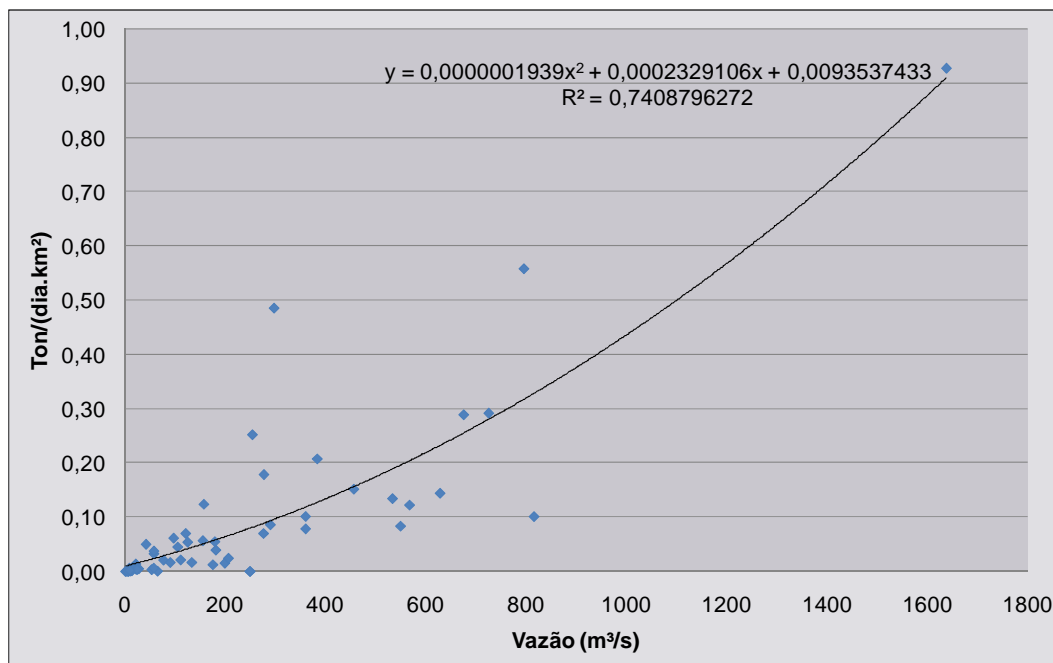


Figura 3.51: Análise da produção de sedimentos específica para a estação Rosário do Sul (76310000)

Quadro 3.10: Orientação para escolha ou correção da descarga do leito (ICOLD, 1989)

Condição	Concentração de sedimento em suspensão (mg/l)	Material do leito do rio	Granulometria do material em suspensão	Porcentagem de descarga do leito em função da descarga em suspensão
1	< 1.000	Areia	20 a 50% de areia	25 a 150
2	> 1.000 a 7.500	Areia	20 a 50% de areia	10 a 35
3	> 7.500	Areia	20 a 50% de areia	5
4	Qualquer concentração	Argila compactada, pedregulho, seixos rolados ou pedras	Pequena quantidade de areia até 25%	5 a 15%
5	Qualquer concentração	Argila e silte	Nenhuma areia	<2

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 3.11: Produção de sedimentos afluentes a barragem Taquarembó com base na Estação Rosário do Sul

Ano	Qmédia	Qst	Qst leito	Qst total
	(m³/s)	(t/ano)	(t/ano)	(t/ano)
1978	7,45	2.617,89	392,68	3.010,57
1979	9,55	2.726,93	409,04	3.135,98
1980	18,81	3.336,39	500,46	3.836,85
1981	10,63	2.780,92	417,14	3.198,06
1982	19,88	3.381,49	507,22	3.888,72
1983	15,73	3.117,86	467,68	3.585,54
1984	22,18	3.547,28	532,09	4.079,38
1985	16,15	3.127,83	469,17	3.597,00
1986	21,43	3.480,24	522,04	4.002,28
1987	21,14	3.452,98	517,95	3.970,93
1988	7,96	2.640,86	396,13	3.036,99
1989	2,99	2.341,01	351,15	2.692,16
1990	15,27	3.073,67	461,05	3.534,72
1991	12,50	3.038,86	455,83	3.494,69
1992	20,68	3.512,59	526,89	4.039,48
1993	17,88	3.244,18	486,63	3.730,80
1994	10,27	2.779,14	416,87	3.196,01
1995	15,16	3.119,60	467,94	3.587,54
1996	9,50	2.736,63	410,50	3.147,13
1997	23,60	3.645,70	546,85	4.192,55
1998	21,35	3.455,62	518,34	3.973,96
1999	6,16	2.517,98	377,70	2.895,68
2000	17,01	3.201,12	480,17	3.681,29
2001	21,13	3.520,12	528,02	4.048,14
2002	26,71	3.808,22	571,23	4.379,45
2003	12,92	2.913,67	437,05	3.350,72
2004	6,78	2.561,07	384,16	2.945,23
2005	7,84	2.613,50	392,03	3.005,53
2006	5,33	2.471,23	370,68	2.841,91
média	14,62	3.060,85	459,13	3.519,98

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS

3.3.5.2 Definição do Volume Inativo

O estudo do aporte de sedimento foi realizado no âmbito do item já citado que quantificou o volume de partícula sólida convergente para o reservatório em questão.

O volume que se deposita no reservatório tem uma distribuição em seu interior que depende de inúmeros fatores. Pode-se citar: (a) o volume total do reservatório (V_R); (b) a forma do reservatório; (c) o volume total de sedimentos afluente (V_S); (d) o tipo de operação do reservatório; (e) peso específico e composição granulométrica do sedimento (argila, silte e areia); (f) dentre outros. De um modo geral, as partículas mais pesadas são depositadas na entrada do reservatório e, as menores, avançam mais para o interior, conforme peso, velocidade das correntes e tempo de detenção no reservatório.

A metodologia empregada nesse estudo foi o método empírico de redução de área no reservatório desenvolvido por Borland e Miller (1960). Esse método permite calcular a altura de sedimento no pé da barragem e a distribuição dos depósitos ao longo do leito do reservatório para diversas alturas de água na barragem, segundo quatro tipos de distribuições (tipo 1, tipo 2, tipo 3 e tipo 4), conforme a operação e forma do reservatório. O reservatório estudado recaiu na classificação do tipo 2 (zonas de inundações ou colinas).

Cabe salientar que as curvas apresentadas por Borland e Miller são curvas médias e foram desenvolvidas experimentalmente nos EUA e têm, sem dúvida, um grande valor prático e científico. Entretanto, devido às divergências climatológicas e naturais de solos, geomorfologia, bem como cobertura vegetal, dentre outros aspectos, para uniformizar os critérios de projeto, adotou-se um volume de sedimentos para o dobro da vida útil do aproveitamento, considerada aqui em 50 anos. Este procedimento é usual e reduz, em parte, as incertezas envolvidas nas estimativas. Consequentemente, a vida útil de cada barramento estará associada à elevação da tomada de água, definida pela aplicação do método descrito.

A seguir, é apresentado o gráfico sugerido por Brune e Churchill (Figura 3.52), que apresenta a eficiência de retenção de sedimentos no reservatório (E_R) em função da relação do seu volume total (V_R) com o deflúvio líquido anual médio afluente (Q_{MA}). Considerou-se o volume total do reservatório (V_R) como sendo o equivalente ao nível de água máximo normal de operação do reservatório (NA_{normal}). Uma vez que o reservatório é reduzido, empregar-se-á o método de Churchill para estimar o volume acumulado no reservatório.

Uma vez determinado o deflúvio sólido médio anual (Q_S), considerando conhecido o volume total do reservatório (V_R) e o deflúvio líquido anual médio afluente (Q_{MA}), foi estimada, para o local do aproveitamento, a eficiência de retenção de sedimentos no reservatório (E_R) através do gráfico da Figura 3.52. Isto permitiu avaliar o volume anual de sedimento (V_A em m^3/ano) depositado no reservatório.

$$V_A = \frac{Q_S \cdot E_R}{\gamma_{ap}}, \text{ em } m^3/ano.$$

O volume característico de sedimentos que é depositado (V_{TA}) em um tempo fixo (T) em anos, no caso a vida útil do reservatório, foi calculado como:

$$V_{TA} = T \cdot \frac{Q_S \cdot E_R}{\gamma_{ap}}$$

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

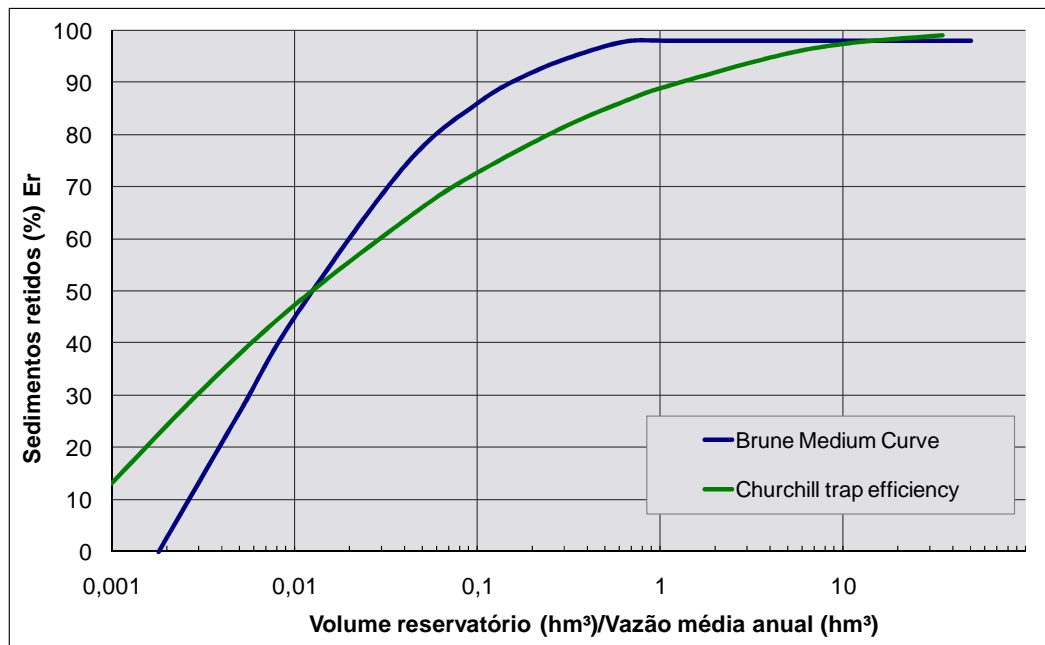


Figura 3.52: Curvas de eficiência de retenção do sedimento em reservatório, segundo Brune e Churchill (Fonte: Design of Small Dams, USBR)

A avaliação do peso específico aparente inicial (γ_{ap}) dos depósitos de sedimentos foi estimada de acordo com o método de Lara e Pembert, que fornece valores entre 0,641 t/m³ (100% argila), 1,153 t/m³ (100% silte) e 1,554 t/m³ (100% areia).

O cálculo do peso específico inicial dos depósitos de sedimentos foi realizado pela equação a seguir.

$$y = W_a \cdot Argila_{\%} + W_m \cdot Silte_{\%} + W_s \cdot Areia_{\%}$$

onde:

y = peso específico inicial dos depósitos de sedimentos;

W_a , W_m , e W_s = peso específico inicial da argila, silte e areia;

$Argila_{\%}$, $Silte_{\%}$ e $Areia_{\%}$ = percentagem de argila, silte e areia.

O peso específico dos depósitos de sedimentos tende a aumentar com o decorrer dos anos em que o sedimento permanece no reservatório. Pode-se estimar o peso específico após um determinado número de anos através da equação abaixo:

$$y_T = y_i + 0,4343 \cdot K \cdot \left[\frac{T}{T-1} \cdot (\log T) - 1 \right]$$

onde:

y_i = peso específico inicial dos depósitos de sedimentos;

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

γ_T = peso específico dos depósitos de sedimentos após T anos de compactação;

K = constante que depende do tamanho do sedimento para determinar o peso específico de operação do reservatório, apresentada no Quadro 3.12.

Quadro 3.12: Valores do coeficiente K

Tipo de reservatório	Areia	Silte	Argila
1	0	91	256
2	0	29	135
3	0	0	0
4	0	0	0

Com base no exposto, pode-se considerar na adoção de volume de assoreamento equivalente a 100 anos de depósito, que já se está levando em conta a variação do peso específico que pode ocorrer em função do tipo de sedimento e as incertezas decorrentes da eficiência de retenção de sedimentos no reservatório (E_R).

Em todos os casos, a distribuição granulométrica que compõem os sedimentos em suspensão, foi obtida pela característica do solo existente no local, considerando uma porcentagem de argila, silte e areia de 17%, 31% e 52%, respectivamente.

Quadro 3.13: Parâmetros empregados para estimar o volume inativo

Tempo	Vsól. depos.	Vsól. efluente	E_r	Gama ap.	Qsól. afluente	Qsól. efluente	Vs depos./ Vtotal reserv.
(anos)	(hm^3)	(hm^3)	(%)	(t/m^3)	(t/ano) x 10^3	(t/ano) x 10^3	
10	0,029	0	99,676	1,274	3,89	0,01	0
20	0,061	0	99,676	1,274	4,3	0,01	0
30	0,097	0	99,676	1,274	4,74	0,02	0,001
40	0,136	0	99,676	1,274	5,24	0,02	0,001
50	0,179	0,001	99,676	1,274	5,79	0,02	0,001
70	0,28	0,001	99,676	1,274	7,06	0,02	0,002
100	0,474	0,002	99,675	1,274	9,52	0,03	0,003

A correção das curvas cota x área x volume está apresentada na Figura 3.53.

O USBR (1987)¹¹ recomenda que o volume morto mínimo igual a 5% do volume total. Contudo, apesar da sugestão, e como demonstrado pelos cálculos, seria um superestimação do volume inativo. Portanto, julgou-se prudente adotar um volume intermediário e posicionou-se a cota da tomada de água na elevação 135,00 m, correspondente a 1% em relação ao volume original sem a deposição de 100 anos de sedimentos.

¹¹ UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR BUREAU OF RECLAMATION (1987). DESIGN OF SMALL DAMS

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

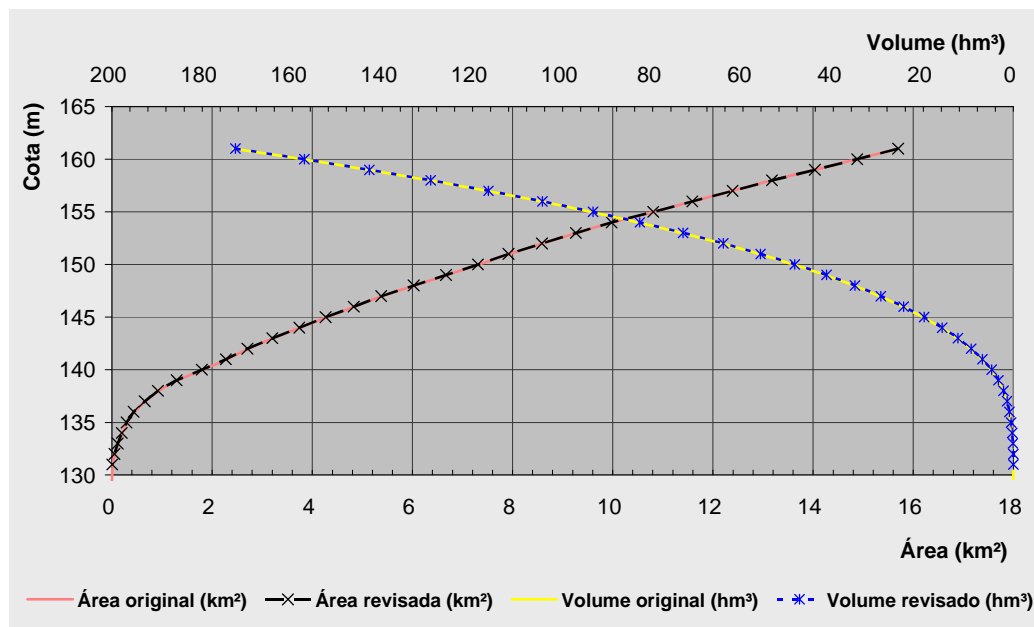


Figura 3.53: Curvas cota x área x volume da barragem Taquarembó corrigidas pelo método empírico de redução de área, proposto por Borland e Miller (1958)

3.3.6 Balanço Hídrico do Reservatório para Diversas Funcionalidades

A simulação de operação de um reservatório (balanço hídrico) passa pelo cruzamento de vazões afluentes, capacidade de armazenamento do reservatório e demandas hídricas resultantes da utilização da água estocada na represa.

Os dados necessários para a simulação de operação são os seguintes:

- série de vazões afluentes ao local de barramento: as vazões afluentes relacionam-se à série histórica de vazões médias mensais geradas a partir de dados pluviométricos mensais, obtidos pelo MODHAC (Modelo Hidrológico Auto-Calibrável) no período compreendido entre janeiro de 1978 e dezembro de 2006;
- série histórica de precipitações e evaporações: no período de simulação foram utilizados dados já descritos acima;
- detalhamento físico do reservatório, isto é, relações entre cota, área e volume, definidos através dos levantamentos topográficos;
- detalhamento das demandas agrícolas a serem atendidas;
- demanda ecológica: definida anteriormente no item de vazões mínimas remanescentes (0,5 m³/s); e
- demandas provenientes dos demais usos da água do curso d'água. Neste caso, foi considerada a demanda de abastecimento público da cidade de Dom Pedrito (0,2 m³/s).

No Quadro 3.14 descreve-se o procedimento para a simulação da operação do reservatório

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 3.14: Sequência de cálculo para análise operacional do reservatório

Passo	Mês Inicial (1)	Meses Subsequentes (2 até 418)
1	Reservatório está cheio, ou seja, o Nível d'Água está na soleira do vertedouro (CSV)	O cálculo começa com o volume do mês anterior (i - 1)
2	Cálculo do volume afluente ($V_a I$) no mês inicial: $V_a I = Q_a I \times N_d I \times 24 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}$ $V_a I$ = volume afluente no mês inicial, em m^3 $Q_a I$ = vazão afluente no mês inicial, em m^3/s $N_d I$ = número de dias do mês inicial	Cálculo do volume afluente $V_a(i)$ de todos os meses da série: $V_a(i) = Q_a(i) \times N_d(i) \times 24 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}$ $V_a(i)$ = volume afluente no mês "i", em m^3 $Q_a(i)$ = vazão afluente no mês "i", em m^3/s $N_d(i)$ = número de dias do mês "i"
3	Cálculo da área da superfície do reservatório no mês inicial – A I. O cálculo da área é função da soma do volume afluente e do volume inicial do reservatório.	Cálculo da área da superfície do reservatório no mês "i". O cálculo da área é função da soma do volume afluente – $V_a(i)$ e do volume do reservatório "i - 1".
4	Cálculo do volume demandado ($V_d I$) no mês inicial (se houver): $V_d I = Q_d I \times N_d I \times 24 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}$ $V_d I$ = volume demandado no mês inicial, em m^3 $Q_d I$ = vazão demandada no mês inicial, em m^3/s $N_d I$ = número de dias do mês inicial	Cálculo do volume demandado no mês "i" (se houver): $V_d(i) = Q_d(i) \times N_d(i) \times 24 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}$ $V_d(i)$ = volume demandado no mês "i", em m^3 $Q_d(i)$ = vazão demandada no mês "i", em m^3/s $N_d(i)$ = número de dias do mês "i"
5	Cálculo da demanda ambiental (V_{amb}) no mês inicial: $V_{amb} = Q_{amb} I \times N_d I \times 24 \text{ horas} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}$ V_{amb} = volume demanda ambiental no mês inicial, em m^3 $Q_{amb} I$ = vazão ecológica (25% da vazão $Q_{90\%}$ da Curva de Permanência) $N_d I$ = número de dias do mês inicial	$V_{amb}(i) = Q_{amb}(i) \times N_d(i) \times 24 \text{ h} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}$ $V_{amb}(i)$ = volume demanda ambiental no mês "i", em m^3 $Q_{amb}(i)$ = vazão ambiental no mês "i" = 25% da vazão $Q_{90\%}$ da Curva de Permanência $N_d(i)$ = número de dias do mês "i" Cálculo da demanda ambiental no mês "i":
6	Atendimento da demanda pela disponibilidade do rio Se o rio não possuir vazão suficiente para atender a demanda, o restante é chamado de demanda a ser atendida pelo reservatório ($V_{dr} I$)	Atendimento da demanda pela disponibilidade do rio Se o rio não possuir vazão suficiente para atender a demanda, o restante é chamado de demanda a ser atendida pelo reservatório ($V_{dr}(i)$)
7	Cálculo do balanço R: $R = VI + V_a I - V_{dr} I - A I \times Ev I \times 10 - V_{amb}$ R = volume resultante do balanço, em m^3 VI = volume inicial do reservatório, em m^3 $V_a I$ = volume afluente inicial, em m^3 $V_{dr} I$ = volume demandado para o reservatório, em m^3 $Ev I$ = evaporação média do mês inicial, em mm $A I$ = área do reservatório no mês inicial, em ha V_{amb} = demanda ambiental, em m^3	Cálculo do balanço $R(i)$: $R(i) = R(i-1) + V_a(i) - V_{dr}(i) - A(i) \times Ev(i) \times 10 - V_{amb}(i)$ $R(i)$ = volume resultante do balanço no mês "i", em m^3 $R(i-1)$ = volume no reservatório, relativo ao mês "i - 1" $V_a(i)$ = volume afluente no mês "i", em m^3 $V_{dr}(i)$ = volume demandado para o reservatório, em m^3 $Ev(i)$ = evaporação média do mês "i", em mm $A(i)$ = área do reservatório no mês "i", em ha $V_{amb}(i)$ = demanda ambiental no mês "i", em m^3
8	Se $R >$ Volume do Reservatório, ocorre vertimento e nível d'água resultará na soleira do vertedouro, ou seja, o reservatório estará cheio; Se $R <$ Volume do Reservatório, não ocorre vertimento e o nível d'água será calculado em função do volume remanescente (R); Se $R <$ Volume Mínimo, ocorrerá uma falha, ou seja, o reservatório estará com volume impossibilitado de derivação para jusante.	Se $R(i) >$ Volume do Reservatório, ocorre vertimento e nível d'água resultará na soleira do vertedouro, ou seja, o reservatório estará cheio; Se $R(i) <$ Volume do Reservatório, não ocorre vertimento e o nível d'água será calculado em função do volume remanescente (R); Se $R(i) <$ Volume Mínimo, ocorrerá uma falha, ou seja, o reservatório estará com volume impossibilitado de derivação para jusante.

No Quadro 3.15 são apresentadas as demandas unitárias associadas aos planejamentos agrícolas adotado.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 3.15: Demandas médias unitárias para irrigação

Mês	Demanda Unitária (L/s/ha)
Janeiro	1,21
Fevereiro	0,89
Março	0,81
Abril	0,00
Maio	0,00
Junho	0,00
Julho	0,00
Agosto	0,00
Setembro	0,00
Outubro	0,00
Novembro	0,63
Dezembro	0,60

O Quadro 3.16 indica a garantia de atendimento para diversas áreas previstas para irrigação. Essa simulação foi realizada prevendo a existência de um volume morto para sedimentos.

Quadro 3.16: Garantia de atendimento de irrigação na Barragem Taquarembó

Garantia de Atendimento	Área Irrigada (ha)
100%	12.660
99%	13.080
98%	14.320
97%	15.900
96%	16.060
95%	16.660
94%	17.580
93%	19.280
92%	19.900
91%	20.740
90%	21.140

A Figura 3.54 apresenta a evolução dos volumes do reservatório para atendimento de uma área de 16.660 ha com garantia de 95%. Pode-se observar que o reservatório deverá encher quase todo o ano. As falhas ocorreram nos anos em que a precipitação anual foi inferior a 1.500 mm, principalmente nos anos críticos de 1988-1990. Esse limite de precipitação deve ser observado pelo monitoramento hidrológico para futuros racionamentos.

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

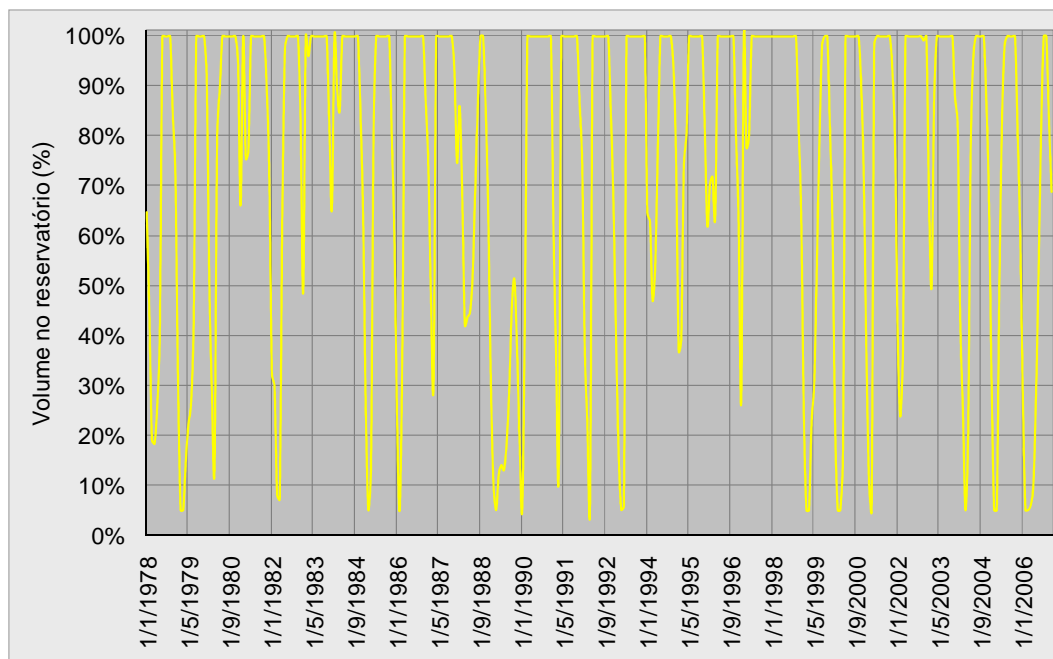


Figura 3.54: Simulação do reservatório para garantia de 95% de atendimento da área irrigada.

3.3.7 Definição das Cheias de Projeto

Os registros de séries de vazões históricas disponíveis na estação de Passo do Guterres salientaram a importância do estudo de volumes de cheias afluentes a barragem. Dos poucos anos observados, conseguiu verificar que a estação apresentou volumes específicos de hidrogramas superiores que os registrados nas estações circunvizinhas, inclusive a de Rosário do Sul.

Numa comparação com os volumes obtidos pela metodologia do hidrograma unitário do SCS (1975) constatou que os volumes gerados ainda sim eram menores e pouco representativos para um cheia que poderia ocorrer e ajudar a dimensionar a estrutura de extravasão.

Isto posto, foram estudados então volumes excepcionais factíveis de ocorrerem com base nos registros existentes, e, com base na configuração dos eventos registrados, consolidaram-se hidrogramas que associaram formatos de cheias conhecidas na bacia e picos de vazões obtidos pelo SCS (1975). O método que deu origem aos picos de vazões está descrito no item subsequente.

3.3.7.1 Determinação da Vazão de Pico

Na sequência de iniciativas para definição das cheias de projeto, o primeiro passo dado foi calcular o tempo de concentração da bacia. Para tanto, foi selecionada a expressão preconizada pelo antigo Departamento Nacional de Obras de Saneamento - DNOS:

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

$$t_c = \frac{10A^{0,3}L^{0,2}}{Ki^{0,4}}$$

Onde:

- ▶ t_c = tempo de concentração, em min;
- ▶ A = área da bacia, em ha;
- ▶ L = comprimento do talvegue, em m;
- ▶ i = declividade do talvegue, em %;
- ▶ K = coeficiente adimensional (Quadro 3.17)

Quadro 3.17: Coeficiente K da fórmula do extinto DNOS

Característica	K
Terreno areno-argiloso coberto de vegetação intensa, absorção elevada	2
Terreno argiloso coberto de vegetação, absorção média apreciável	3
Terreno argiloso coberto de vegetação, absorção média	4
Terreno com vegetação média, pouca absorção média	4,5
Terreno com rocha, vegetação escassa, absorção baixa	5
Terreno rochoso, vegetação rala, absorção reduzida	5,5

Sendo a área da bacia 63.799 ha, o comprimento do talvegue 63,1 km, a sua declividade 0,0033 m/m e o K adotado igual a 4, o tempo de concentração da bacia hidrográfica da Barragem do Arroio Taquarembó foi calculado em 16 horas e 20 minutos.

Para efeitos de cálculo, utilizou-se a duração da chuva de projeto igual a 16 horas.

Posteriormente determinou-se os parâmetros da equação de chuvas intensas para a série de dados pluviométricos, para uma equação do tipo:

$$i = \frac{K \cdot TR^a}{(t + b)^c}$$

Onde:

- ▶ i = intensidade da precipitação, em mm/h;
- ▶ TR = período de retorno, em anos;
- ▶ t = duração da chuva, em min;
- ▶ K, a, b, c = parâmetros da equação.

Para os dados observados, os parâmetros determinados foram: $K = 1736,45$, $a = 0,11$, $b = 14,16$, $c = 0,77$.

Após a determinação das intensidades, foram determinadas as respectivas precipitações. Como os valores de precipitação são pontuais, é necessária a determinação da precipitação média distribuída na bacia. Utilizou-se a fórmula apresentada por Torga-Torrico (1974):

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

$$P = P_0 \left(1 - 0,10 \log \frac{A}{25} \right)$$

Onde:

- ▶ P = precipitação distribuída na área, em mm;
- ▶ P_0 = precipitação pontual, em mm;
- ▶ A = área da bacia, em km².

A precipitação máxima com duração de 16 horas sobre a bacia hidrográfica determinada pela Barragem do Arroio Taquarembó para 5, 10, 25, 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos de recorrência pode ser observada no Quadro 3.18.

Quadro 3.18: Precipitações máximas na bacia da Barragem do Arroio Taquarembó

Período de retorno (anos)	Precipitação (mm)
5	139,67
10	151,10
25	167,67
50	181,40
100	196,26
500	235,61
1.000	254,90
10.000	331,07

A distribuição temporal da chuva de projeto, necessária para geração de hidrogramas de cheias, foi feita com a metodologia dos Blocos Alternados, recomendada pelo *U.S. Bureau of Reclamation*. A metodologia consiste em dividir cada chuva intensa em uma sequência de blocos de chuva. O ordenamento adotado foi o sugerido por Tucci (1998): 6, 4, 3, 1, 2, 5. A Figura 3.55 apresenta alguns hietogramas das chuvas de projeto com duração de 16 horas.

A precipitação efetiva foi calculada pela expressão do *Soil Conservation Service (SCS)*, e os hidrogramas de cheia foram determinados pelo método do Hidrograma Unitário Triangular, metodologia também definida pelo SCS. Para tanto, foi necessário ainda determinar o parâmetro CN (*Curve Number*), baseado no solo da bacia e sua cobertura. A determinação do CN pode ser observada no Quadro 3.19.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

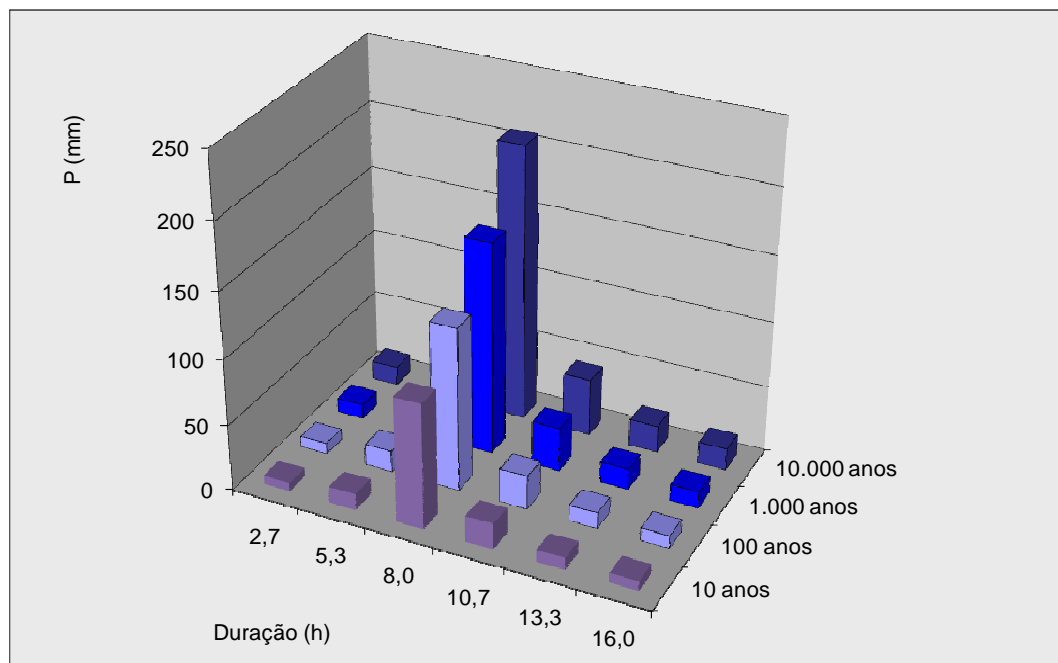


Figura 3.55: Hietogramas da chuva de projeto para os diferentes tempos de recorrência

As vazões de projeto para os diversos tempos de retorno podem ser observadas no Quadro 3.20.

Quadro 3.19: Determinação do CN

Solo/Cobertura	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Grupo de solo	CN
Podzólico Bruno-Acinzentado Planossólico eutrófico	1,891		C	
Agricultura cultivos cíclicos em área anteriormente coberta por Savana-Estépica	0,024	0,00%	C	82
Savana- Estépica Arborizada	1,836	0,29%	C	70
Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa	0,031	0,00%	C	70
Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico	438,637		D	
Agropecuária em área anteriormente coberta por Estepe	0,897	0,14%	D	79
Agropecuária em área anteriormente coberta por Savana-Estépica	11,911	1,87%	D	79
Estepe Arborizada + Floresta Estacional Decidual Submontana	21,218	3,33%	D	69
Floresta Estacional Decidual Submontana	7,783	1,22%	D	69
Floresta Estacional Decidual Submontana + Agropecuária	5,367	0,84%	D	76
Florestamento/Reflorestamento em área anteriormente	0,080	0,01%	D	69

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Solo/Cobertura	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Grupo de solo	CN
coberta por Savana-Estéptica				
Savana-Estéptica Arborizada	386,996	60,66%	D	76
Savana-Estéptica Gramíneo-Lenhosa	0,621	0,10%	D	76
Savana-Estéptica Gramíneo-Lenhosa + Afloramento rochoso	3,764	0,59%	D	83
Podzólico Vermelho-Escuro distrófico	44,232		C	
Agropecuária em área anteriormente coberta por Estepe	1,484	0,23%	C	70
Agropecuária em área anteriormente coberta por Savana-Estepica	1,031	0,16%	C	70
Estepe Arborizada + Floresta Estacional Decidual Submontana	15,299	2,40%	C	69
Floresta Estacional Decidual Submontana	0,079	0,01%	C	62
Floresta Estacional Decidual Submontana + Agropecuária	0,080	0,01%	C	78
Savana-Estéptica Arborizada	25,445	3,99%	C	70
Savana-Estéptica Gramíneo-Lenhosa + Afloramento rochoso	0,814	0,13%	C	78
Solos Litólicos distróficos	146,863		D	
Agricultura cultivos cíclicos em área anteriormente coberta por Savana-Estéptica	1,801	0,28%	D	82
Agropecuária em área anteriormente coberta por Savana-Estéptica	6,759	1,06%	D	79
Água	1,069	0,17%	D	100
Água em área anteriormente coberta por Savana-Estéptica	0,063	0,01%	D	100
Floresta Estacional Decidual Submontana	9,335	1,46%	D	69
Floresta Estacional Decidual Submontana + Afloramento rochoso	4,685	0,73%	D	84
Floresta Estacional Decidual Submontana + Agropecuária	0,169	0,03%	D	72
Savana-Estéptica Arborizada	56,950	8,93%	D	76
Savana-Estéptica Gramíneo-Lenhosa	2,171	0,34%	D	76
Savana-Estéptica Gramíneo-Lenhosa + Afloramento rochoso	63,862	10,01%	D	83
Solos Litólicos eutróficos	6,367		D	
Agropecuária em área anteriormente coberta por Estepe	2,929	0,46%	D	79
Estepe Arborizada + Floresta Estacional Decidual Submontana	3,434	0,54%	D	69
Floresta Estacional Decidual Submontana + Agropecuária	0,003	0,00%	D	69
Total geral	637,990			76

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 3.20: Vazões de projeto para diferentes períodos de retorno

Período de retorno (anos)	Vazão de pico (m³/s)
5	770,32
10	871,09
25	1.020,04
50	1.145,67
100	1.283,41
500	1.655,38
1.000	1.840,59
10.000	2.587,14

3.3.7.2 Estudo de Volumes Afluentes

A avaliação de volumes afluentes foi baseada na comparação dos volumes escoados na estação fluviométrica de Passo do Guterres e dos volumes precipitados na estação pluviométrica de Torquato Severo – 03154003 (ver Quadro 3.21).

Numa situação hipotética de completa conversão da chuva em vazão, pode-se observar que a diferença entre os valores escoados observados e os precipitados tendem a diminuir com o aumento de dias analisados, o que é bastante plausível. Logo para 20 dias de volume escoado está convergindo a um limite da ordem do volume precipitado. Dessa forma, na estimativa de volume escoado considerou-se que a faixa de volume observado indicado na última linha do Quadro 3.21, obtido pela estação Passo do Guterres, fornece um parâmetro satisfatório para determinar os volumes do hidrograma de projeto.

Além disso, no próximo item pesquisou-se o formato a adotar no desenvolvimento do volume observado.

Quadro 3.21: Comparação dos volumes escoados na estação fluviométrica de Passo do Guterres e dos volumes precipitados na estação pluviométrica de Torquato Severo – 03154003

Tr (anos)	Precipitação Acumulada (mm)				Volume (hm³) decorrente do escoamento total do precipitado			
	1 dia	7 dias	10 dias	20 dias	1 dia	7 dias	10 dias	20 dias
5	142	263	296	378	91	168	189	241
10	164	303	340	433	104	193	217	276
20	184	341	382	485	118	218	244	309
25	191	353	395	502	122	225	252	320
50	211	390	436	553	135	249	278	353
100	231	427	477	604	148	273	304	385
1.000	298	549	612	772	190	350	390	493
10.000	364	671	746	940	232	428	476	600
Eventos máximos registrados	185	366	413	526	82	239	299	464

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

3.3.7.3 Estabelecimento dos Hidrogramas Afluentes

Como mencionado antes, foram analisados diversos hidrogramas registrados na estação fluviométrica de Passo do Guterres, adimensionalizando-os em relação ao pico observado (Q/Q_{max}), conforme pode ser observado no Quadro 3.22. Com essas configurações, três tempos base foram adotados para modelar os hidrogramas, 7 dias, 10 dias e 20 dias. Os hidrogramas sintéticos oriundos das análises também estão apresentados no supracitado quadro.

Quadro 3.22: Hidrogramas registrados na estação fluviométrica de Passo do Guterres, adimensionalizados em relação ao pico observado (Q/Q_{max})

Dias	abr-77	out-77	abr-80	jun-80	out-80	abr-86	ago-87	Sintético 7 dias	Sintético 10 dias	Sintético 20 dias
-4	0,02		0,03							
-3	0,44	0,01	0,07	0,00	0,01	0,00				
-2	0,72	0,02	0,14	0,02	0,08	0,01	0,02	0,11	0,40	0,72
-1	0,84	0,03	0,64	0,15	0,47	0,06	0,06	0,80	0,90	0,84
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1	0,84	0,48	0,81	0,91	0,31	0,33	0,44	0,74	0,76	0,92
2	0,44	0,44	0,64	0,83	0,06	0,09	0,08	0,29	0,57	0,84
3	0,34	0,38	0,36	0,53	0,03	0,03	0,06			
4	0,25	0,34	0,31	0,29	0,04	0,02	0,05			
5	0,10	0,21	0,25	0,12	0,04	0,01	0,04			
6	0,02	0,21	0,14	0,02	0,02	0,01	0,03			
7	0,02	0,21	0,14	0,02	0,02	0,01	0,03			
8	0,02	0,12	0,11	0,02	0,02	0,01	0,02			
9	0,02	0,08	0,07	0,03	0,02	0,01	0,02			
10		0,02	0,06	0,03						
11		0,02	0,06	0,03						
12		0,03	0,03	0,03						
13				0,03						
14				0,03						
15				0,03						
16				0,02						
17				0,02						
18				0,01						
19				0,01						
20				0,01						

A Figura 3.56 apresenta graficamente os dados do Quadro 3.22. Pode-se observar que os hidrogramas sintéticos encontram-se dentro da faixa de variação registrada na estação.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

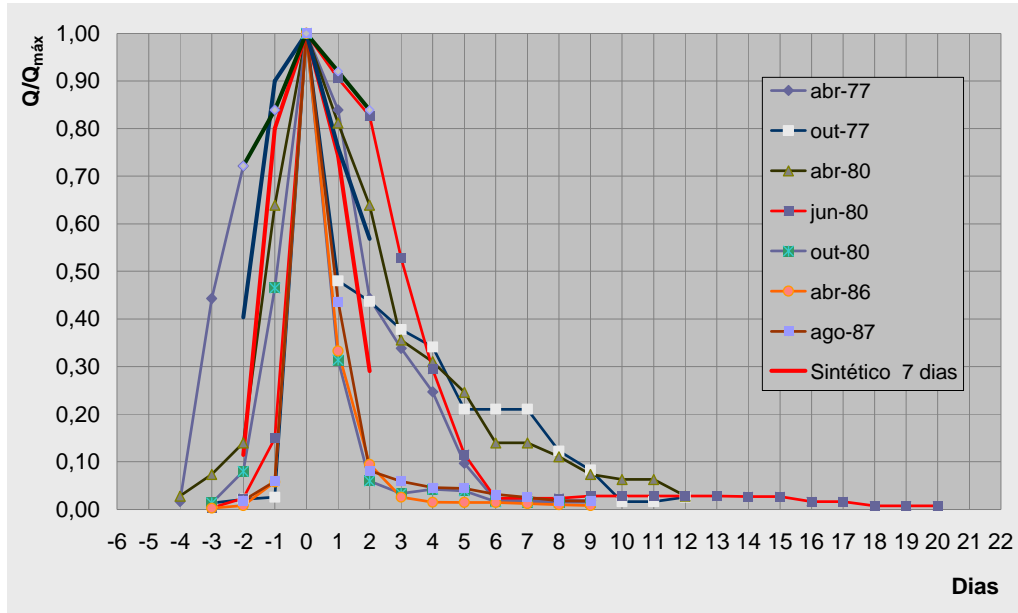


Figura 3.56: Ilustração dos hidrogramas adimensionalizados registrados e os sintéticos empregados na definição das cheias de projeto

Com os picos obtidos pelo SCS (1975) e os hidrogramas sintéticos, realizou-se as modelagens dos hidrogramas afluentes para diversas durações e tempo de recorrência. A Figura 3.57 exemplifica os eventos para tempos de recorrência igual a 10.000 anos.

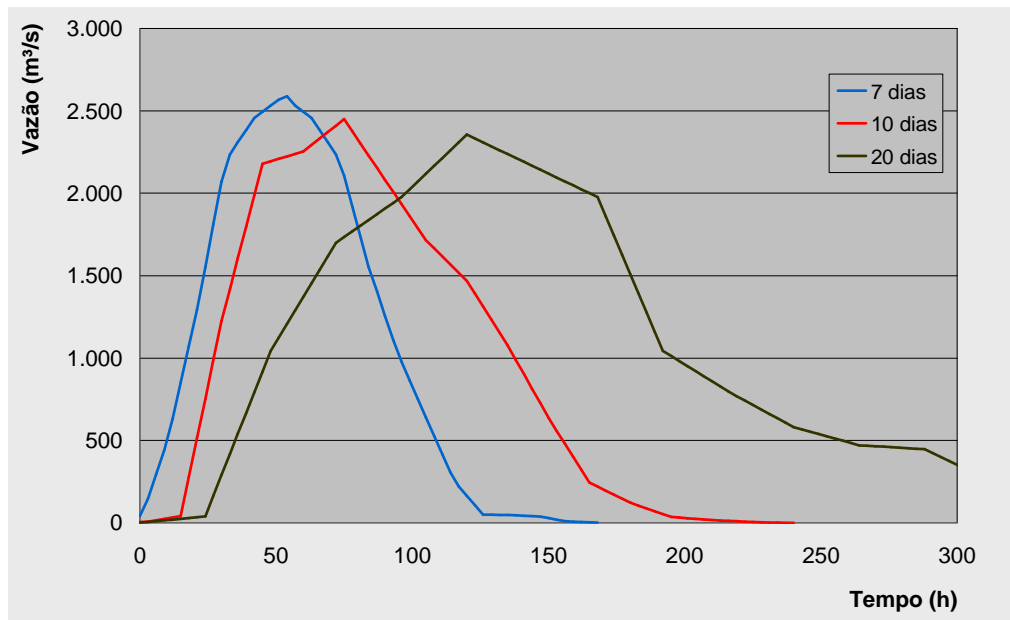


Figura 3.57: Hidrogramas de projeto Tr 10.000 anos para diferentes dias de duração.

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Para os demais hidrogramas com tempo de recorrência inferiores a Tr 10.000 anos selecionou-se durações de 7 dias. Os valores estão indicados no Quadro 3.23.

Quadro 3.23: Hidrogramas afluentes ao reservatório Taquarembó para Tr de 5, 10 e 100 anos

Tempo (h)	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 100 anos
0	115,55	130,66	192,51
3	231,10	261,33	385,02
6	288,87	326,66	481,28
9	346,64	391,99	577,53
12	423,68	479,10	705,88
15	500,71	566,21	834,22
18	577,74	653,32	962,56
21	654,77	740,43	1090,90
24	665,78	752,87	1109,23
27	676,78	765,32	1127,57
30	687,79	777,76	1145,90
33	698,79	790,21	1164,24
36	709,80	802,65	1182,57
39	720,80	815,10	1200,91
42	731,81	827,54	1219,24
45	742,81	839,98	1237,57
48	753,81	852,43	1255,91
51	764,82	864,87	1274,24
54	770,32	871,09	1283,41
57	753,81	852,43	1255,91
60	742,81	839,98	1237,57
63	731,81	827,54	1219,24
66	721,53	815,93	1202,13
69	712,55	805,76	1187,15
72	700,99	792,70	1167,90
75	687,79	777,76	1145,90
78	676,78	765,32	1127,57
81	665,78	752,87	1109,23
84	654,77	740,43	1090,90
87	621,76	703,10	1035,90
90	588,75	665,77	980,89
93	555,73	628,43	925,89
96	517,22	584,88	861,72

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Tempo (h)	Tr 5 anos	Tr 10 anos	Tr 100 anos
99	473,20	535,10	788,38
102	429,18	485,32	715,04
105	385,16	435,55	641,70
108	363,15	410,66	605,04
111	341,14	385,77	568,37
114	319,13	360,88	531,70
117	297,12	335,99	495,03
120	275,11	311,11	458,36
123	253,11	286,22	421,69
126	231,10	261,33	385,02
129	169,18	191,32	281,87
132	107,27	121,30	178,72
135	45,36	51,29	75,57
138	13,99	15,82	23,31
141	13,18	14,90	21,96
144	12,37	13,99	20,60
147	11,55	13,07	19,25
150	8,69	9,83	14,48
153	5,83	6,60	9,72
156	2,97	3,36	4,95
159	1,49	1,68	2,48
162	0,74	0,84	1,24
165	0,37	0,42	0,62
168	0,19	0,21	0,31

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap3.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

4 PROJETO EXECUTIVO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:

124





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

4 PROJETO EXECUTIVO DAS ESTRUTURAS HIDRÁULICAS

Em face da revisão dos estudos hidrológicos, bem como em decorrência da análise realizada visando a otimização do Projeto Básico, tornou-se fundamental a revisão do dimensionamento hidráulico das estruturas componentes da barragem e o aprofundamento dos detalhes tendo em vista a construção da obra.

4.1 Desvio do Arroio Durante o Período Construtivo

Na análise de otimização do Projeto Básico ficaram constatadas algumas incertezas quanto ao desvio do arroio Taquarembó durante o período de implantação das obras da barragem. No sentido de promover uma solução adequada que atenda às condicionantes técnicas e que também não prejudique o andamento das obras foi indicada uma solução que será descrita e posteriormente dimensionada e verificada hidráulicamente.

4.1.1 Concepção das Obras do Desvio

O projeto do desvio do rio deriva-se da disposição das obras, bem como das características hidrológicas regionais de maneira tal que proporcione segurança e Concepção do Desvio/Indicação das Obras

Quanto às obras de desvio, estas são, via de regra, de caráter provisório e se destinam a permitir a construção da barragem em área seca. A solução adotada para o desvio deve ser compatível com o arranjo definido para o aproveitamento.

A solução preconizada para o desvio será o estrangulamento do arroio Taquarembó com a execução de adufas. Admite-se que, neste caso, possa existir algum tipo de escavação para ampliar a calha do arroio ou permitir a construção da obra de desvio em uma das margens. O fechamento do leito natural do arroio por ensecadeiras se dará em 2 etapas (1ª etapa: ensecadeiras para construção da estrutura de desvio, e 2ª etapa: execução das ensecadeiras para desvio do rio para as adufas).

A principal variável envolvida na definição do desvio do rio é a vazão a ser desviada (Q_d). A vazão está relacionada aos riscos de rompimento da ensecadeira recomendados pelo Manual de Inventários da Eletrobrás (1997), apresentados no Quadro 4.1.

Nas obras de desvio do curso d'água da Barragem Taquarembó, previu-se um esquema segundo o item (e), onde duas etapas construtivas foram definidas:

- 1º Momento: preparo da ensecadeira na ombreira esquerda e estrangulamento do arroio pela ombreira oposta;
- 2º Momento: construção de ensecadeiras desenvolvendo-se no sentido longitudinal com a proteção da margem esquerda. A ensecadeira terá o seu coroamento na cota 138,00 m ao longo de sua extensão;
- 3º Momento: serão realizadas as escavações na área protegida pelas ensecadeiras implantadas, possibilitando a implantação as obras indicadas no momento a seguir;
- 4º Momento: Construção das adufas de desvio e elevação parcial do maciço da barragem nessa área. O maciço será elevado até a cota 140,00 m. Nesta

Consórcio:



125



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

mesma etapa serão construídos dois muros perpendiculares ao eixo do barramento, um a jusante de outro a montante, para fechamento das ensecadeiras que serão erguidas na 2ª fase do desvio;

- 5º Momento: o arroio Taquarembó será desviado para o interior das adufas, permitindo a construção das ensecadeiras (montante e jusante) de 2ª fase do desvio. Essas ensecadeiras serão escoradas nos muros construídos a montante e jusante no momento anterior e se desenvolverão em direção a margem esquerda;
- 6º Momento: escavação da área protegida pelas ensecadeiras construídas na 2ª fase;
- 7º Momento: construção do restante do maciço, incluindo também as obras da tomada d'água;
- 8º Momento: fechamento das adufas, com passagem da água ou pelo conduto específico da vazão ecológica. As ensecadeiras de jusante e montante deverão ser removidas.

Quadro 4.1: Risco de rompimento de ensecadeira conforme o esquema de desvio adotado (Eletrobrás, 1997)

Manual de inventário -	
Esquema de desvio	Risco de rompimento de ensecadeira
a) Através de túneis ou galerias em arranjos com barragens de terra	3%
b) Idem, com barragens de enrocamentos	5%
c) Através de adufas em arranjos com barragens de terra	-
Primeira etapa – através do estrangulamento do leito do rio	5%
Segunda etapa – através das adufas	2%
d) Idem, com barragem de enrocamentos	-
Primeira etapa – através do estrangulamento do leito do rio	5%
Segunda etapa – através das adufas	3%
e) Sobre blocos alternados de barragem de concreto.	10%

4.1.2 Definição da Vazão de Desvio Considerando o Fator Risco

Os estudos hidrológicos associados às vazões de desvio do arroio Taquarembó foram conduzidos objetivando a determinação de eventos críticos relacionadas aos riscos de rompimento da ensecadeira. É usualmente difundido para isto o emprego de análise estatística através da aplicação de distribuições de probabilidade representativas de previsão de variáveis aleatórias discretas. Apesar dos registros de vazões de um rio serem uma variável aleatória contínua, geralmente, quando da análise de vazões máximas, pode-se considerar a independência temporal dessa grandeza, e, portanto, podem-se aplicar estas distribuições estatísticas discretas. Sendo assim, neste caso, é possível prever a probabilidade, ou risco, que ocorra um evento de cheia com tempo de retorno de X anos nos próximos Y anos. Tucci (1993) recomenda duas distribuições de probabilidade para essa avaliação: Poisson e Geométrica. Suas formulações são apresentadas adiante.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distribuição de probabilidade de Poisson:

$$P[\text{não ocorrência em } N \text{ anos}] = \exp^{-\lambda}$$

$$\text{Risco de ocorrência} = 1 - \exp^{-\lambda}$$

Sendo:

λ = frequência média de um evento com tempo de retorno (Tr) em anos verificado durante um período de N anos.

Distribuição de probabilidade Geométrica

$$P[\text{não ocorrência em } N \text{ anos}] = \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^N$$

$$\text{Risco de ocorrência} = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^N$$

É importante salientar que essas distribuições são bastante sensíveis à variação do tempo de construção e/ou desvio do rio e, conseqüentemente, na elevação da ensecadeira. Adotou-se que as obras teriam um período máximo de construção igual a 24 meses. O quadro subsequente apresenta esses riscos. As duas distribuições supracitadas indicaram resultados idênticos.

Com essas vazões foram simulados os níveis de água máximos junto à ensecadeira. Adotar-se-á uma borda livre não inferior a 1,0 m para essa estrutura.

A cheia afluyente definida foi a de Tr igual a 10 anos, isto é, 877,25 m³/s.

Quadro 4.2: Risco associado ao rompimento da ensecadeira versus tempo de recorrência do evento de cheia

Parâmetros	Distribuição de Poisson		Distribuição Geométrica	
	1ª Fase Construtiva	2ª Fase Construtiva	1ª Fase Construtiva	2ª Fase Construtiva
Tr (anos)	10	10	10	10
Probabilidade de ocorrência em um ano	0,100	0,100	-	-
Tempo de análise (meses)	12	12	12	12
Número de vezes de ocorrência no tempo de construção	1,0	1,0	1,0	1,0
λ	0,10	0,10	-	-
P[não ocorrência] (%)	90%	90%	-	-
Risco associado (%)	10%	10%	10%	10%

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

4.1.3 Estimativa da Curva Chave do Rio a Jusante da Barragem

Para a determinação da curva chave foi empregado o programa HEC-RAS 4.0 do U.S. Army Corps of Engineers, disponível na rede mundial de computadores no endereço <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>, para simulação do escoamento nas diversas seções adotadas e mudanças de revestimento, caso houvesse.

Para tal foi criado o modelo digital do terreno (Figura 4.1) que foi empregado no referido programa para obter diversas seções topobatimétricas onde se simulou o escoamento do arroio Taquarembó. Empregaram-se os níveis de águas medidos na estação fluviométrica de montante Passo do Guterres para calibração do modelo hidráulico. O coeficiente de Manning utilizado igual a 0,040. A declividade média do curso d'água estimada para o trecho analisado foi de 0,002 m/m. A curva chave está apresentada na Figura 4.2.



Figura 4.1: Modelo digital do terreno

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

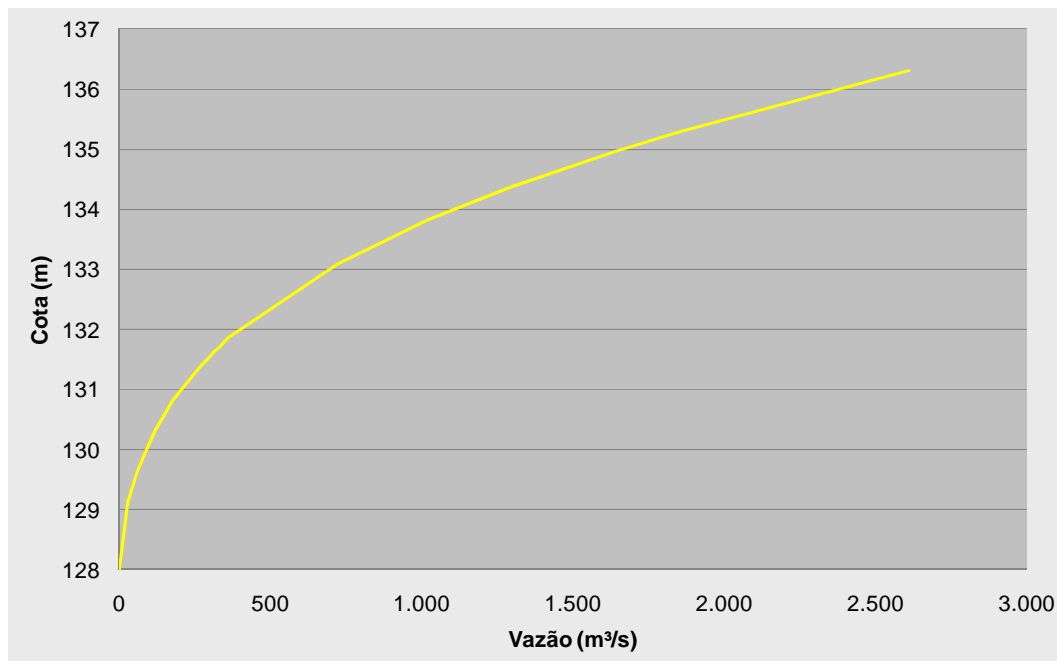


Figura 4.2: Curva chave do rio Taquarembó a jusante do barramento

4.1.4 Cota de Coroamento das Ensecadeiras da 1ª Fase de Desvio e Estrangulamento do Arroio

Através dos levantamentos de campo foi possível modelar a conformação topográfica do terreno na região próxima ao eixo do barramento e, com isso, modelar numericamente suas características. Para aplicação do programa HEC-RAS 4.0 adotaram-se as mesmas simplificações utilizadas para definir a curva-chave a jusante do barramento, conforme descrito no item anterior.

O posicionamento da ensecadeira no rio pode ser visto na figura esquemática (Figura 4.3) apresentada a seguir.

As seções topobatimétricas obtidas pelo modelo do terreno estão indicadas na Figura 4.4.

As demais figuras e quadros apresentam as características hidráulicas dos estudos de desvio do rio elaborado pelo HEC-RAS 4.0.

Vale comentar que as velocidades previstas junto a ensecadeira são elevadas. Deverá ser previsto uma camada de rip-rap de sacrifício de espessura três vezes o diâmetro médio das rochas de proteção para a ocorrência dessa cheia. As rochas deverão ter diâmetro médio da ordem de 0,60 m, obtido pelas recomendações do Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT.

A cota de coroamento da ensecadeira da primeira fase de desvio será 138,00 m.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

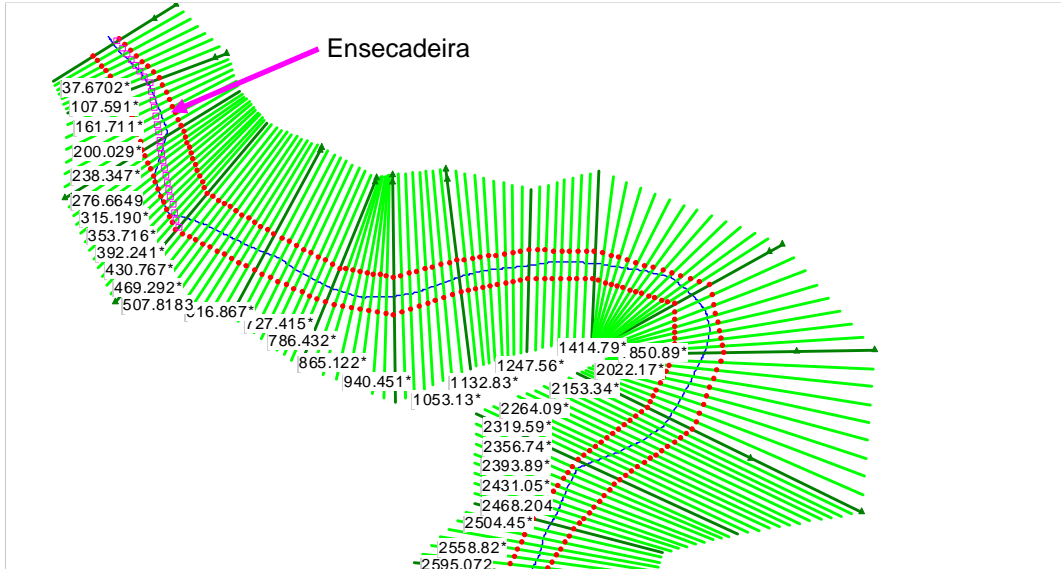


Figura 4.3: Posicionamento aproximado da ensecadeira junto a área de construção da barragem Taquarembó

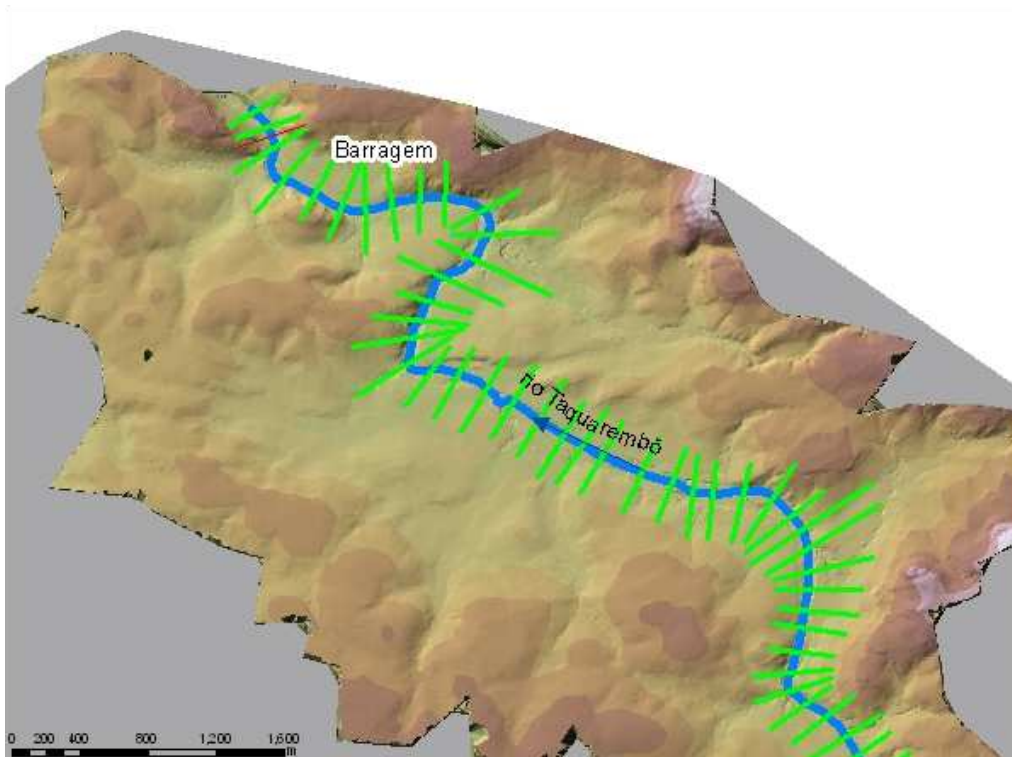


Figura 4.4: Seções topobatimétricas (linhas na cor verde) obtidas pelo modelo numérico do terreno e transpostas para o HEC-RAS 4.0

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap04.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

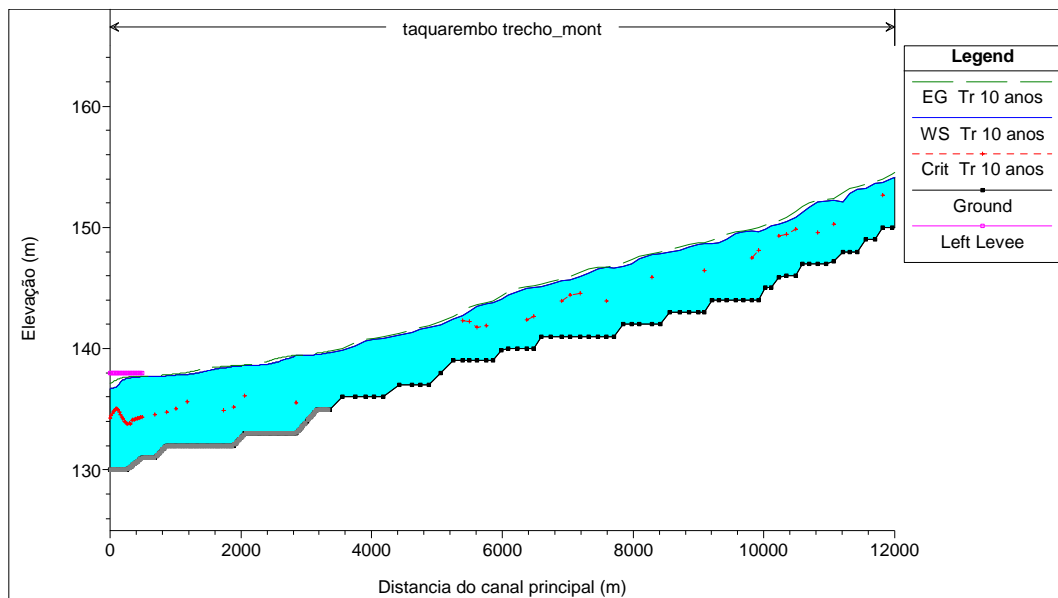


Figura 4.5: Perfil da linha de água (WS) para a cheia de desvio do rio (Tr 10 anos) com estrangulação do rio por ensecadeiras (Levee) com cota de crista na 138 m

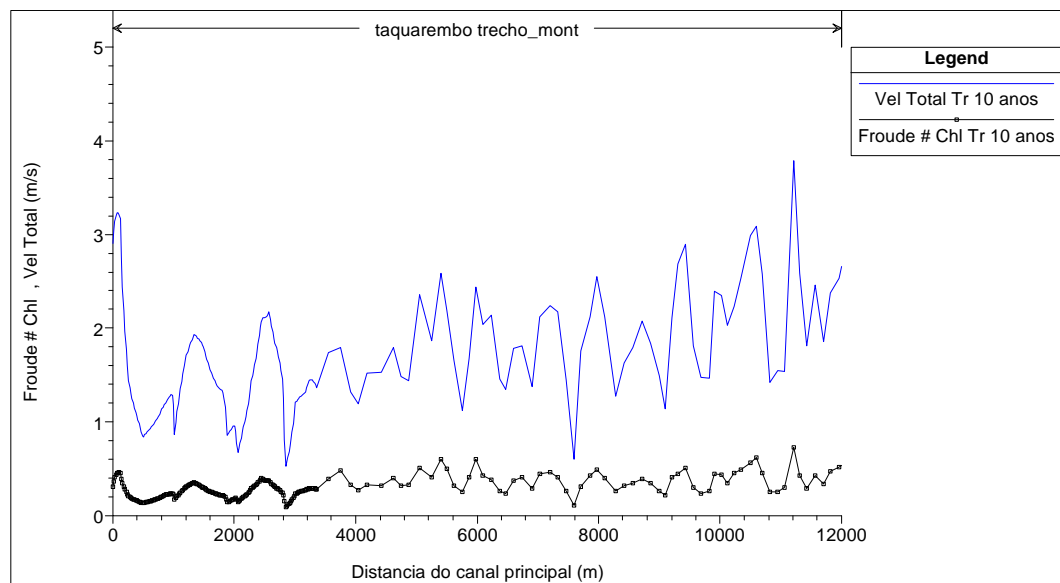


Figura 4.6: Velocidade no rio Taquarembó para a cheia de Tr 10 anos (cheia de desvio do rio) e ensecadeiras na cota 138 m

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 4.3: Características hidráulicas obtidas pela simulação no HEC-RAS 4.0 para cheia de desvio do rio com a ensecadeira implantada.

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
12.289	878	155,07	0,00200	2,60	341,17	0,44
12.154	878	154,49	0,00409	3,30	283,19	0,61
11.980	878	154,02	0,00288	2,85	346,95	0,52
11.844	878	153,70	0,00250	2,57	369,11	0,48
11.726	878	153,59	0,00115	1,99	473,08	0,33
11.581	878	153,22	0,00191	2,50	357,36	0,43
11.450	878	153,16	0,00085	1,86	485,38	0,29
11.329	878	152,81	0,00187	2,70	339,73	0,43
11.228	878	152,08	0,00596	3,81	231,78	0,73
11.084	878	152,22	0,00090	1,85	569,01	0,30
10.974	878	152,15	0,00061	1,67	566,31	0,25
10.838	878	152,08	0,00065	1,56	619,62	0,25
10.714	878	151,67	0,00209	2,72	341,02	0,45
10.614	878	151,22	0,00430	3,25	284,26	0,62
10.513	878	150,86	0,00347	3,04	294,16	0,56
10.364	878	150,50	0,00256	2,72	346,41	0,49
10.253	878	150,29	0,00237	2,38	392,71	0,46
10.138	878	150,13	0,00125	2,12	431,35	0,35
10.037	878	149,87	0,00196	2,59	374,09	0,44
9.935	878	149,65	0,00204	2,63	366,77	0,44
9.839	878	149,68	0,00067	1,82	598,52	0,27
9.702	878	149,62	0,00050	1,62	594,09	0,23
9.582	878	149,47	0,00085	2,06	483,32	0,30
9.449	878	148,99	0,00262	3,11	303,63	0,51
9.324	878	148,75	0,00203	2,81	326,77	0,45
9.226	878	148,66	0,00177	2,31	416,21	0,41
9.109	878	148,69	0,00049	1,38	771,81	0,22
9.020	878	148,59	0,00072	1,66	586,52	0,27
8.878	878	148,39	0,00127	2,05	477,36	0,35
8.735	878	148,12	0,00160	2,34	423,18	0,39
8.581	878	147,94	0,00121	2,11	489,98	0,35
8.436	878	147,81	0,00106	1,89	539,58	0,32

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
8.304	878	147,74	0,00073	1,59	689,09	0,27
8.121	878	147,38	0,00165	2,29	414,51	0,40
7.999	878	147,02	0,00268	2,64	344,04	0,49
7.874	878	146,79	0,00206	2,33	414,31	0,43
7.732	878	146,66	0,00103	1,83	498,77	0,31
7.612	878	146,72	0,00013	0,73	1452,95	0,11
7.482	878	146,57	0,00066	1,74	606,01	0,26
7.343	878	146,25	0,00168	2,56	403,20	0,41
7.214	878	145,97	0,00230	2,73	391,97	0,47
7.053	878	145,63	0,00206	2,60	413,43	0,45
6.922	878	145,60	0,00084	1,75	640,24	0,29
6.758	878	145,29	0,00182	2,32	484,58	0,41
6.616	878	145,08	0,00144	2,23	491,71	0,37
6.496	878	145,04	0,00056	1,50	651,91	0,24
6.389	878	144,95	0,00067	1,71	601,76	0,26
6.255	878	144,68	0,00151	2,28	409,38	0,38
6.108	878	144,44	0,00204	2,27	430,93	0,43
6.006	878	144,04	0,00452	2,59	360,29	0,60
5.881	878	143,78	0,00211	1,88	522,86	0,41
5.774	878	143,71	0,00073	1,29	781,48	0,25
5.635	878	143,49	0,00102	1,90	529,76	0,32
5.520	878	143,11	0,00264	2,82	401,49	0,50
5.417	878	142,72	0,00418	3,09	339,15	0,61
5.263	878	142,47	0,00184	2,20	470,71	0,41
5.075	878	141,93	0,00296	2,52	372,17	0,51
4.889	878	141,74	0,00113	1,83	611,95	0,32
4.769	878	141,60	0,00103	1,83	590,35	0,31
4.637	878	141,35	0,00176	2,19	488,74	0,40
4.444	878	141,14	0,00104	1,86	572,82	0,32
4.197	878	140,87	0,00115	1,88	577,03	0,33
4.058	878	140,77	0,00076	1,62	735,24	0,27
3.929	878	140,62	0,00118	1,77	666,76	0,33
3.768	878	140,25	0,00274	2,31	490,07	0,48
3.576	878	139,86	0,00176	1,93	503,58	0,39

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
3.379	878	139,68	0,00083	1,60	643,01	0,28
3.360	878	139,66	0,00086	1,63	631,46	0,28
3.341	878	139,64	0,00088	1,65	621,18	0,29
3.322	878	139,62	0,00090	1,67	612,40	0,29
3.303	878	139,60	0,00090	1,67	606,49	0,29
3.285	878	139,59	0,00089	1,66	604,80	0,29
3.266	878	139,57	0,00087	1,65	605,93	0,29
3.247	878	139,55	0,00087	1,65	609,75	0,29
3.229	878	139,54	0,00085	1,63	623,09	0,28
3.210	878	139,53	0,00082	1,61	640,78	0,28
3.191	878	139,51	0,00079	1,57	663,27	0,27
3.173	878	139,50	0,00076	1,57	670,70	0,27
3.155	878	139,49	0,00074	1,56	677,55	0,27
3.136	878	139,48	0,00072	1,56	683,97	0,26
3.118	878	139,46	0,00069	1,55	689,93	0,26
3.100	878	139,45	0,00067	1,53	695,69	0,26
3.081	878	139,44	0,00064	1,52	701,36	0,25
3.063	878	139,43	0,00061	1,49	708,56	0,25
3.045	878	139,42	0,00058	1,47	717,38	0,24
3.026	878	139,42	0,00055	1,44	726,76	0,23
3.008	878	139,42	0,00045	1,33	804,68	0,21
2.990	878	139,42	0,00036	1,22	888,96	0,19
2.972	878	139,42	0,00029	1,12	979,67	0,17
2.954	878	139,43	0,00023	1,02	1076,71	0,16
2.936	878	139,43	0,00019	0,94	1180,26	0,14
2.918	878	139,43	0,00015	0,86	1290,30	0,13
2.900	878	139,43	0,00012	0,78	1407,41	0,11
2.882	878	139,43	0,00010	0,72	1531,91	0,10
2.864	878	139,43	0,00008	0,66	1664,35	0,09
2.845	878	139,39	0,00024	1,07	1077,18	0,16
2.825	878	139,33	0,00048	1,45	700,50	0,22
2.806	878	139,29	0,00059	1,63	604,23	0,25
2.787	878	139,26	0,00063	1,75	567,30	0,26
2.768	878	139,23	0,00070	1,85	539,43	0,27

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
2.749	878	139,19	0,00076	1,94	517,28	0,28
2.729	878	139,16	0,00079	2,01	501,07	0,29
2.710	878	139,14	0,00082	2,06	489,26	0,30
2.691	878	139,11	0,00088	2,13	476,32	0,31
2.672	878	139,08	0,00094	2,20	463,01	0,32
2.652	878	139,04	0,00102	2,27	449,18	0,33
2.633	878	139,00	0,00110	2,35	434,82	0,34
2.614	878	138,96	0,00120	2,44	419,83	0,36
2.595	878	138,91	0,00132	2,54	403,97	0,37
2.576	878	138,89	0,00132	2,50	408,61	0,37
2.558	878	138,87	0,00133	2,46	412,07	0,37
2.540	878	138,85	0,00135	2,44	414,38	0,37
2.522	878	138,83	0,00139	2,42	415,47	0,37
2.504	878	138,80	0,00145	2,41	415,57	0,38
2.486	878	138,76	0,00158	2,45	415,66	0,40
2.468	878	138,74	0,00163	2,42	423,89	0,40
2.449	878	138,72	0,00151	2,33	436,80	0,38
2.431	878	138,71	0,00139	2,24	457,42	0,37
2.412	878	138,70	0,00129	2,15	478,61	0,35
2.393	878	138,69	0,00118	2,08	500,84	0,34
2.375	878	138,68	0,00108	2,01	523,32	0,33
2.356	878	138,67	0,00101	1,95	545,42	0,32
2.338	878	138,66	0,00095	1,90	567,03	0,31
2.319	878	138,65	0,00091	1,84	588,10	0,30
2.301	878	138,64	0,00087	1,79	608,46	0,29
2.282	878	138,64	0,00075	1,70	650,88	0,27
2.264	878	138,64	0,00066	1,62	693,91	0,26
2.245	878	138,63	0,00058	1,54	737,81	0,24
2.227	878	138,63	0,00052	1,47	782,85	0,23
2.208	878	138,63	0,00046	1,40	829,03	0,22
2.190	878	138,63	0,00042	1,34	877,08	0,21
2.171	878	138,62	0,00039	1,29	929,09	0,20
2.153	878	138,62	0,00035	1,22	988,44	0,19
2.134	878	138,62	0,00032	1,17	1056,66	0,18

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
2.116	878	138,62	0,00028	1,09	1135,80	0,17
2.097	878	138,62	0,00024	1,01	1218,95	0,16
2.079	878	138,62	0,00021	0,93	1305,58	0,15
2.060	878	138,60	0,00028	1,10	1132,92	0,17
2.041	878	138,58	0,00034	1,22	976,55	0,19
2.022	878	138,58	0,00032	1,19	915,13	0,18
2.003	878	138,57	0,00030	1,17	919,85	0,18
1.983	878	138,57	0,00027	1,13	933,54	0,17
1.964	878	138,56	0,00025	1,09	951,93	0,16
1.945	878	138,56	0,00023	1,05	972,99	0,16
1.926	878	138,56	0,00021	1,02	995,90	0,15
1.907	878	138,56	0,00019	0,98	1021,10	0,14
1.888	878	138,53	0,00028	1,20	868,88	0,17
1.869	878	138,50	0,00036	1,36	759,24	0,20
1.850	878	138,48	0,00040	1,45	698,82	0,21
1.832	878	138,46	0,00043	1,50	669,22	0,21
1.813	878	138,45	0,00045	1,53	656,18	0,22
1.794	878	138,44	0,00045	1,57	651,09	0,22
1.775	878	138,42	0,00045	1,60	647,59	0,22
1.756	878	138,41	0,00046	1,63	644,39	0,22
1.737	878	138,40	0,00048	1,66	632,94	0,23
1.718	878	138,39	0,00050	1,69	621,49	0,23
1.699	878	138,37	0,00052	1,71	610,05	0,24
1.680	878	138,36	0,00054	1,74	598,59	0,24
1.661	878	138,34	0,00057	1,77	587,15	0,25
1.642	878	138,33	0,00059	1,81	575,59	0,25
1.623	878	138,31	0,00060	1,85	563,90	0,26
1.605	878	138,29	0,00063	1,89	552,09	0,26
1.586	878	138,27	0,00065	1,93	540,03	0,27
1.567	878	138,25	0,00068	1,98	527,66	0,27
1.548	878	138,23	0,00072	2,04	514,71	0,28
1.529	878	138,20	0,00076	2,10	501,23	0,29
1.510	878	138,17	0,00081	2,16	487,16	0,30
1.491	878	138,15	0,00085	2,19	481,17	0,31

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
1.472	878	138,13	0,00090	2,22	475,65	0,31
1.453	878	138,11	0,00095	2,25	470,64	0,32
1.433	878	138,09	0,00101	2,28	466,20	0,33
1.414	878	138,06	0,00106	2,30	462,48	0,33
1.395	878	138,04	0,00112	2,32	459,31	0,34
1.376	878	138,01	0,00117	2,34	456,51	0,35
1.357	878	137,99	0,00121	2,37	454,06	0,35
1.339	878	137,97	0,00118	2,33	460,55	0,35
1.320	878	137,96	0,00114	2,29	467,42	0,34
1.302	878	137,94	0,00110	2,25	474,68	0,34
1.284	878	137,93	0,00105	2,21	482,55	0,33
1.265	878	137,91	0,00101	2,18	491,32	0,32
1.247	878	137,90	0,00096	2,13	501,45	0,32
1.229	878	137,89	0,00091	2,09	513,60	0,31
1.210	878	137,88	0,00086	2,04	528,55	0,30
1.192	878	137,87	0,00080	1,98	547,94	0,29
1.172	878	137,87	0,00071	1,88	579,70	0,27
1.152	878	137,87	0,00063	1,79	613,16	0,26
1.132	878	137,86	0,00056	1,71	649,01	0,25
1.112	878	137,86	0,00051	1,62	688,41	0,23
1.092	878	137,86	0,00045	1,54	733,24	0,22
1.073	878	137,86	0,00040	1,46	787,18	0,21
1.053	878	137,86	0,00035	1,36	880,57	0,19
1.033	878	137,87	0,00027	1,21	1013,25	0,17
1.014	878	137,80	0,00049	1,61	742,71	0,23
996	878	137,78	0,00051	1,64	685,83	0,23
977	878	137,77	0,00051	1,64	681,13	0,24
959	878	137,77	0,00051	1,63	686,65	0,23
940	878	137,76	0,00051	1,61	695,91	0,23
921	878	137,76	0,00050	1,59	706,46	0,23
903	878	137,75	0,00049	1,57	717,30	0,23
884	878	137,74	0,00047	1,56	728,43	0,22
865	878	137,74	0,00044	1,52	741,30	0,22
845	878	137,73	0,00042	1,49	756,65	0,21

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
825	878	137,73	0,00039	1,45	773,50	0,20
806	878	137,73	0,00037	1,41	791,34	0,20
786	878	137,72	0,00034	1,37	809,84	0,19
766	878	137,72	0,00032	1,33	828,73	0,19
747	878	137,72	0,00030	1,29	848,05	0,18
727	878	137,71	0,00028	1,26	867,68	0,17
707	878	137,71	0,00027	1,22	887,52	0,17
689	878	137,71	0,00025	1,19	900,84	0,17
671	878	137,70	0,00024	1,16	914,25	0,16
653	878	137,70	0,00023	1,13	927,75	0,16
635	878	137,70	0,00022	1,10	941,36	0,16
616	878	137,70	0,00022	1,08	955,04	0,15
598	878	137,69	0,00021	1,05	969,03	0,15
580	878	137,69	0,00020	1,02	983,63	0,15
562	878	137,69	0,00019	0,99	999,49	0,14
544	878	137,69	0,00019	0,96	1018,69	0,14
525	878	137,69	0,00018	0,94	1044,39	0,14
507	878	137,68	0,00017	0,94	1036,10	0,13
488	878	137,67	0,00019	1,00	981,61	0,14
469	878	137,67	0,00020	1,05	936,31	0,15
450	878	137,66	0,00022	1,10	896,66	0,15
430	878	137,65	0,00023	1,15	860,66	0,15
411	878	137,64	0,00025	1,20	827,00	0,16
392	878	137,63	0,00026	1,25	794,88	0,16
372	878	137,62	0,00028	1,30	763,74	0,17
353	878	137,61	0,00030	1,36	733,08	0,18
334	878	137,59	0,00032	1,42	702,52	0,18
315	878	137,58	0,00035	1,49	671,93	0,19
295	878	137,56	0,00038	1,56	641,10	0,20
276	878	137,54	0,00041	1,65	609,95	0,21
257	878	137,50	0,00052	1,83	548,37	0,23
238	878	137,45	0,00064	2,03	493,97	0,25
219	878	137,39	0,00080	2,24	445,61	0,28
200	878	137,32	0,00100	2,48	401,48	0,31

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Distância	Q Total	Elev N.A	Declividade de Linha de Energia	Velocidade	Área do Escoamento	Nº Froude
(m)	(m³/s)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	
180	878	137,23	0,00127	2,76	360,05	0,34
161	878	137,11	0,00169	3,11	319,33	0,39
Barragem	878	136,93	0,00239	3,58	277,08	0,45
125	878	136,88	0,00252	3,62	273,32	0,46
107	878	136,83	0,00261	3,63	271,30	0,46
90	878	136,79	0,00265	3,57	271,32	0,45
73	878	136,75	0,00262	3,45	273,98	0,44
55	878	136,72	0,00250	3,23	279,62	0,41
38	878	136,70	0,00230	2,92	288,76	0,37
20	877	136,69	0,00200	2,47	302,06	0,31

4.1.5 Cota de Coroamento das Ensecadeiras da 2ª Fase de Desvio e Dimensionamento Hidráulico das Adufas

A cota de coroamento da ensecadeira foi determinada prevendo a formação de um reservatório temporário a montante (amortecendo a cheia de desvio) e a capacidade de escoamento do evento crítico das adufas. A cheia afluyente definida foi a de Tr igual a 10 anos, isto é, 877,25 m³/s. Contudo, as adufas foram dimensionadas para a cheia amortecida igual a 875,66 m³/s. As dimensões das adufas permaneceram conforme determinado no projeto básico, ou seja, 4 metros de altura por 7,5 metros de comprimento. Entretanto, com a atualização dos cálculos hidrológicos ficou justificada a adoção de mais uma adufa, totalizando assim, 4 unidades posicionadas em dois blocos do maciço na ombreira direita.

A Figura 4.7 ilustra o hidrograma da cheia afluyente, o amortecimento do evento, a cheia efluyente (igual à curva descarga das adufas operando normalmente) e os níveis de água ocorridos à montante e jusante da barragem em construção.

Para estimar a curva descarga das adufas empregou-se a metodologia de French (1988), cuja formulação é descrita a seguir, além de suas variáveis envolvidas.

$$Q = C_D A_0 \left[\frac{2g(NA_{montante} - NA_{jusante})}{1 + \left(8,84 \cdot C_D^2 \cdot n^2 \cdot L / R_0^{4/3} \right)} \right]^{1/2}$$

Sendo: A_0 = área do escoamento (m²) dentro do conduto; $NA_{montante}$ e $NA_{jusante}$ = elevação do nível de água a montante e jusante das tubulações (m); g = aceleração da gravidade (m/s²); L = comprimento do conduto; R_0 = raio hidráulico do conduto; C_d = coeficiente de descarga utilizado como 0,84; n = coeficiente de rugosidade de Manning igual a 0,014.

Analisando as simulações (Figura 4.7) conclui-se que a ensecadeira de montante deverá ter coroamento na cota 139 m e a ensecadeira de jusante 135,5 m.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

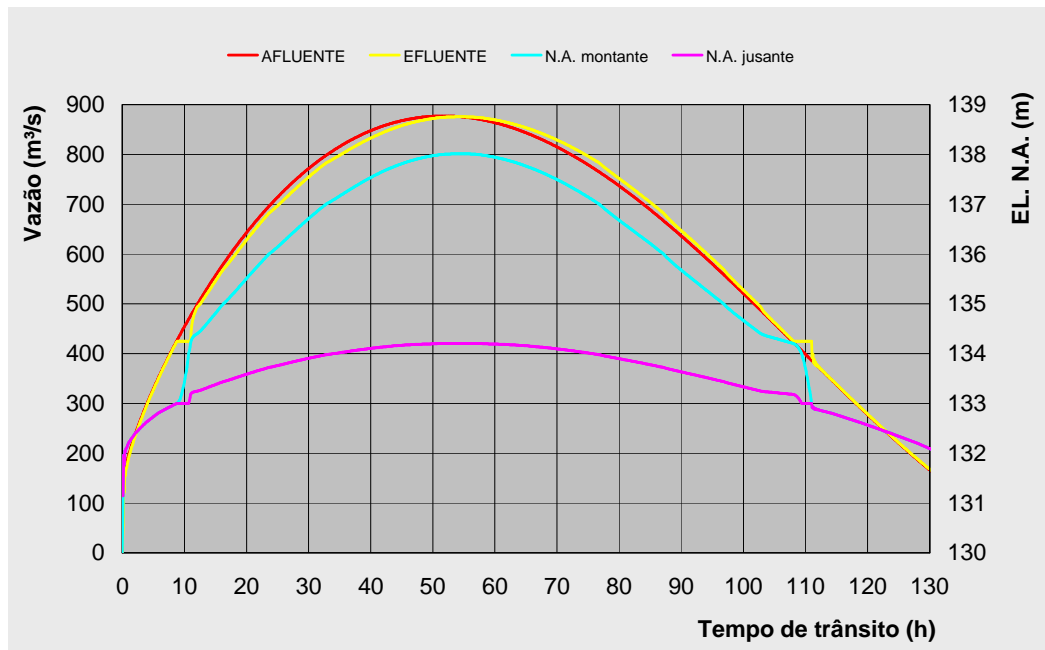


Figura 4.7: Simulação da cheia de Tr 10 anos transitando pelas adufas de desvio

4.1.6 Fechamento do Desvio do Rio para Enchimento do Reservatório

O fechamento do desvio do rio passa por um estudo probabilístico dos riscos envolvidos no procedimento. Para tal, avaliou a série de vazões afluentes ao reservatório e o efeito do fechamento total das adufas, elevação do nível de água no lago com o funcionamento apenas da descarga de fundo durante essa operação.

Selecionada uma faixa de vazões dentro da curva de permanência obtidas pela simulação chuva-vazão, obteve-se a probabilidade de ocorrências destas para cada mês do ano (Quadro 4.4) haja vista o desconhecimento do mês de fechamento das adufas de desvio.

Quadro 4.4: Probabilidade de ocorrência de vazões segundo o mes do ano

Vazão (m³/s)	Jan	fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2	41%	59%	56%	75%	89%	93%	99%	98%	96%	89%	70%	43%
4	24%	45%	43%	65%	78%	88%	94%	94%	85%	76%	52%	29%
6	15%	33%	33%	56%	71%	81%	92%	80%	70%	59%	37%	18%
8	9%	23%	22%	44%	62%	69%	84%	61%	52%	42%	24%	9%
10	6%	14%	13%	30%	40%	50%	59%	36%	26%	24%	13%	5%
12	5%	10%	9%	21%	23%	27%	30%	17%	14%	14%	7%	4%
18	4%	7%	7%	15%	15%	17%	18%	10%	10%	9%	6%	3%
26	3%	6%	6%	12%	13%	14%	15%	8%	8%	6%	4%	3%
56	2%	3%	4%	8%	9%	9%	8%	5%	4%	4%	3%	2%
150	1%	1%	1%	4%	3%	3%	3%	2%	2%	3%	1%	1%

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Com base no risco associado de ocorrência de vazões afluentes em cada mês do ano, é possível planejar as atividades de fechamento com um gráfico que ilustra a influência na elevação do nível do reservatório quando do fechamento hipotético “imediate” das adufas e abertura total da descarga de fundo (Figura 4.8).

As adufas foram posicionadas na cota 129 m e seu topo, por onde transitarão veículos para a fechamento do desvio, na elevação 139,9 m. A descarga de fundo também foi posicionada na referida cota de fundo da adufa, o que indica a faixa de nível do reservatório para ocorrer o preparo das comportas de fechamento, limpeza do concreto e concretagem para selagem final da galeria, antes do vertimento de vazão no descarregador de cheia. Observando o gráfico, há um limite de tempo mínimo para execução dessa atividade, ou seja, 10 horas, antes da água passar por cima da zona de tráfego nas adufas. A utilização desse gráfico está sujeito a suposição da permanência dessas vazões por tempos acima de 2 horas. Visto que o tempo de concentração da bacia correspondente é de 16 horas, o que implica em tempos de respostas inferiores a proposta de análise simplificada realizada na figura, a análise torna-se apenas orientativa para planejamento dos trabalhos de fechamento das adufas.

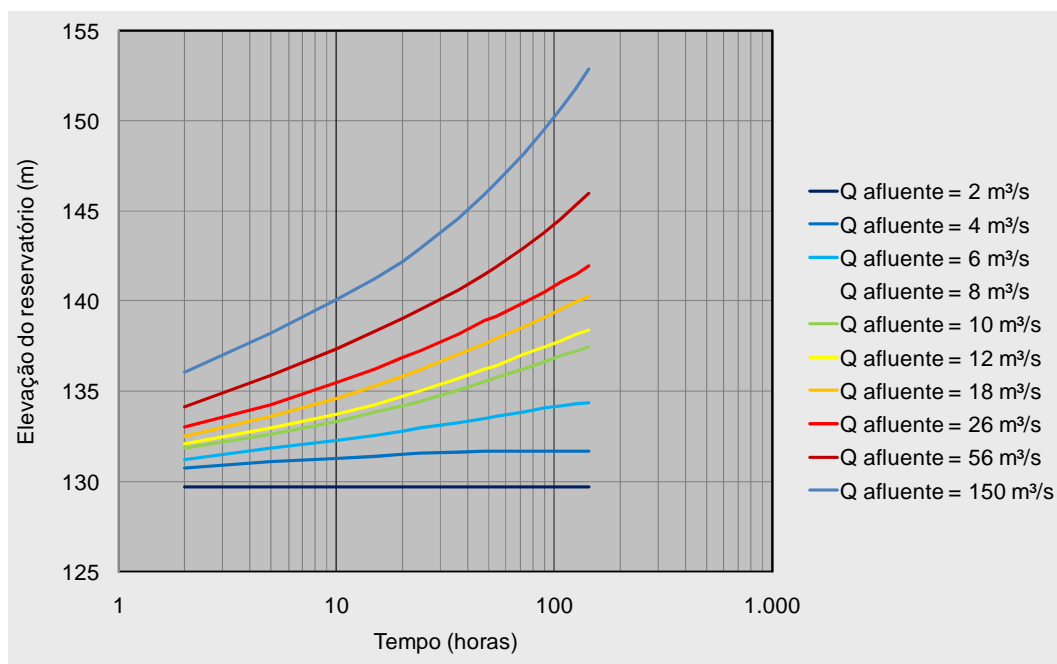


Figura 4.8: Estimativa do tempo de enchimento do reservatório

Outra ponto importante para avaliar é o período do ano mais apropriado para fechamento do reservatório, no sentido de determinar o tempo de enchimento do reservatório. Essa análise foi delineada para períodos medianos de afluência, bem como, secos e úmidos. A variável independente na avaliação foi o mês de fechamento e a ordenada foi dada em dias de enchimento. A Figura 4.9 a seguir apresenta esses resultados. É importante salientar que análise de ano seco espelhou na ocorrência das menores vazões ao longo do período. Isso é muito pouco provável de acontecer, julgando-se mais próxima da realidade as estimativas de ano mediano.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

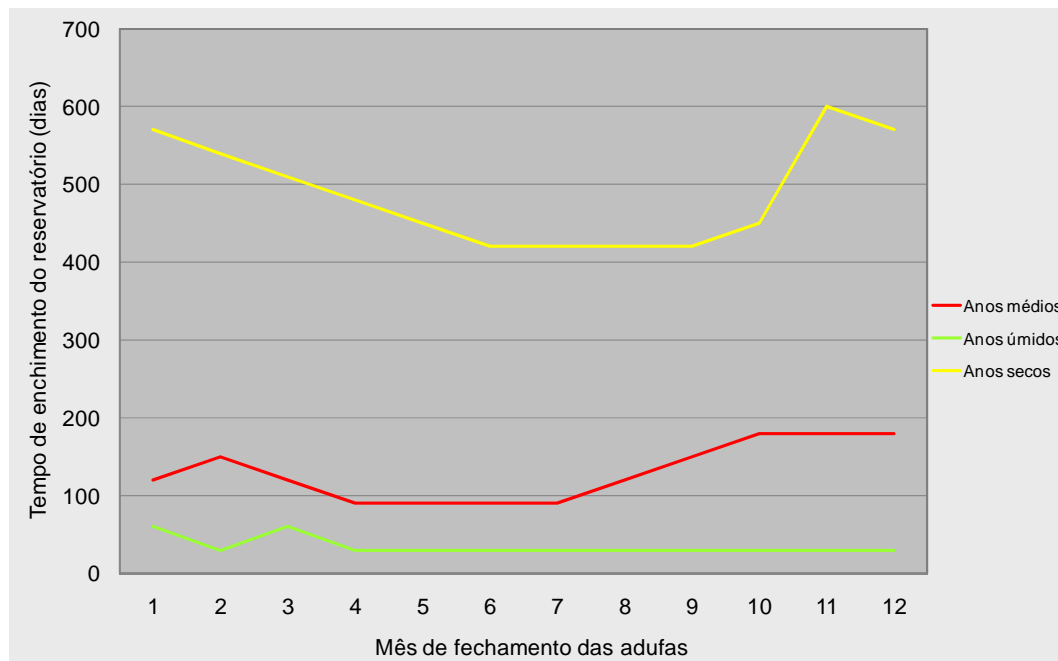


Figura 4.9: Tempo de enchimento do reservatório para fechamento das adufas em diferente meses do ano (dias)

4.2 Projeto dos Dispositivos de Captação Hídrica

Neste capítulo apresenta-se a concepção e o dimensionamento da tomada d'água e de um dispositivo auxiliar para a liberação das descargas exigidas para a irrigação.

4.2.1 Considerações Iniciais

A simulação do reservatório indicou a vazão de dimensionamento necessária para atender a área prevista para irrigação. Com 95% de garantia de atendimento o reservatório do Taquarembó pode irrigar aproximadamente 17.000 ha.

Inicialmente, no projeto básico, apresentou-se um layout das obras onde a vazão demanda era atendida unicamente por uma tomada de água junto a própria barragem de acumulação no rio Taquarembó. Com o aprofundamento dos estudos, ficou acordado que essa solução poderia ser readequada de maneira a minimizar os custos do canal de adução localizado a jusante da barragem, que teria longo trecho escavado em rocha. Portanto, as condicionantes topográficas agora detalhadas confirmaram a possibilidade de realizar uma segunda tomada de água em um dos pontos de fugas existentes no desenvolvimento do lago na sua porção oeste. A solução preconizada para essa tomada de água é a construção de um túnel, finalizando numa outra bacia de acumulação e posterior derivação para o canal de adução que alimentará as áreas previstas para irrigação de pelos menos 12.500 ha.

Os recursos hídricos necessários para suprir os demais 4.200 ha necessários, posicionados logo a jusante da barragem serão fornecidos pela tomada de água e descarregador descritos nas seções subseqüentes do texto.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

4.2.2 Concepção das Obras

A tomada de água foi posicionada acima da cota do sedimento, decorrente do processo de assoreamento do reservatório durante 100 anos consecutivos.

Optou-se por localizá-la na porção oposta da posição inicialmente prevista no projeto básico da barragem de maneira proporcional maior facilidade no processo construtivo das obras.

A disposição dessas estruturas longitudinalmente no maciço foi associada à fundação competente existente, visto que elas estão incorporadas ao CCR.

A concepção idealizada dos mecanismos de liberação de vazões baseou-se nos seguintes aspectos:

- tipo e frequência de sua operação;
- tipo de maciço;
- controle da vazão liberada;
- vazão máxima liberada obtida pelas simulações previamente apresentadas;
- manutenção da vazão ecológica e;
- eventualmente, passagem das águas durante as cheias.

Também foi prevista uma tubulação localizada no pé da barragem posicionada junto ao leito do rio, chamada descarregador de fundo, com o intuito de facilitar o procedimento de fechamento das adufas de desvio do rio.

Os coeficientes e metodologias para determinação da capacidade de descarga das estruturas, bem como as perdas de cargas do sistema de captação hídrica, são indicados nos itens subseqüentes.

4.2.3 Tomada d'Água

A tomada d'água foi dimensionada para atender à maior vazão mensal para atendimento das demandas, adicionada à vazão ecológica e à vazão demandada para abastecimento público da cidade de Dom Pedrito. A maior vazão mensal é de janeiro, e adicionada às demais citadas perfaz um total de 7 m³/s.

4.2.3.1 *Determinação das Perdas de Carga*

As perdas de carga foram representadas pelo somatório das seguintes perdas:

- devido à aceleração da água (ΔH_E);
- nas grades de proteção (ΔH_G);
- nos nichos dos stop-logs e comportas (ΔH_C);
- nas curvas do conduto forçado (ΔH_T);
- no conduto forçado (ΔH_{CF}).

A seguir, descreve-se como são estimadas essas perdas.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS

– **Perdas de Carga devido à Aceleração da Água**

A perda por aceleração do escoamento na entrada da tomada d'água depende da forma da estrutura e pode ser avaliada a partir da equação:

$$\Delta H_E = k_E \cdot \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g}$$

onde:

- k_E é o coeficiente relativo a forma da entrada, variando entre 0,04 para forma hidrodinâmica bem afinada e arredondada e 0,1 para transição brusca;
- V_2 é a velocidade d'água na saída da tomada d'água;
- V_1 é a velocidade antes da tomada d'água;
- g é a aceleração da gravidade.

– **Perdas de Carga nas Grades**

A instalação de grades na tomada d'água tem a finalidade de barrar a entrada de troncos de madeira, ou quaisquer outros corpos transportados pelo rio e que possam causar danos às estruturas.

Para isso o dimensionamento balizou na NBR 11.213 que recomenda os valores de espaçamento das barras verticais usados em tomadas d'água a montante de turbinas.

A forma das grades influencia diretamente as perdas de carga no sistema adutor. Geralmente estas são construídas a partir de barras chatas de aço. As perdas de carga podem ser diminuídas dando-se às barras uma forma mais hidrodinâmica, porém a fabricação com essa forma é relativamente mais cara. As barras são dispostas verticalmente ou inclinadas e se apóiam, em sua parte inferior, em uma ranhura na soleira da tomada; no centro se apóiam em vigas horizontais e na parte superior, em uma construção de concreto, como uma ponte de serviço ou laje curvada que reduza suavemente a área molhada na altura das grades para a seção das comportas.

As grades, que devem ser limpas regularmente, têm inclinação com a horizontal de até 75°.

A velocidade do escoamento passando pelas grades, nas situações em que a limpeza das mesmas é manual, não deve ultrapassar 0,8 m/s. Para limpeza por máquina ou em situações em grande profundidade, estes valores podem alcançar até 3,6 m/s, mantendo o funcionamento adequado. Para a geometria proposta, tem-se para a máxima vazão que passa, velocidades correspondentes na entrada da tomada de até 1,00 m/s.

As perdas de carga nas grades (ΔH_G) podem ser avaliadas, conforme proposto pela NBR 11213, através da equação de Kirschmer:

$$\Delta H_G = k_b \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \cos \alpha$$

onde :

- k_b é o coeficiente da barra
- a) para barras de seção retangular: $K_b = 2,42$;
- b) para barras de seção circular e bordas arredondadas: $K_b = 1,67$;

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS

- c) para barras de seção circular: $K_b = 1,79$;
- s é a espessura da barra vertical;
 - b é o espaçamento entre barras verticais;
 - V é a velocidade do fluxo considerando a área livre de passagem do fluxo na grade com 25% de obstrução;
 - g é a aceleração da gravidade;
 - α é o ângulo de inclinação da grade em relação ao plano vertical.

- **Perdas de Carga nos Nichos dos Stop-logs e Comportas**

Existem poucas informações sobre as perdas de carga nos nichos das comportas ou stop-logs (ΔH_C). Schreiber (1978) propõe a perda por nicho com a equação:

$$\Delta H_C = 0,02 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

- **Perdas de Carga devido a Curvas no Conduto Forçado**

A perda de carga em trechos curvos de tubos é influenciada por diversos parâmetros, entre eles, o número de Reynolds, a rugosidade relativa, a relação da curvatura (Raio da curva/Diâmetro do tubo), o ângulo entre as duas tangentes à curva, como também o comprimento dos trechos retos a montante e a jusante da curva (Schreiber, 1978).

A perda de carga devido a curvas no conduto forçado pode ser avaliada a partir da equação:

$$\Delta H_T = C \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

onde:

- C é o coeficiente de perda de carga devido à curva da tubulação, obtido a partir de estudos empíricos (Figura 4.10);
- V é a velocidade média do escoamento no conduto forçado.

Os coeficientes de perda de carga devido à curva foram obtidos a partir de dados do USBR (1977), que consideram a relação da curvatura (Raio da curva/Diâmetro do tubo) e o ângulo entre as duas tangentes à curva, conforme ilustra a figura subsequente.

- **Perda Linear no Conduto**

A perda de carga linear no conduto forçado (ΔH_{CF}) é estimada pela formulação sugerida por Schreiber (1978);

$$\Delta H_{CF} = \lambda \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \frac{L}{D}$$

- * L é o comprimento do conduto forçado (m);
- * D é o diâmetro conduto forçado (m);
- * λ é o fator que tem relação funcional com número de Reynolds e com a rugosidade relativa da tubulação.

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

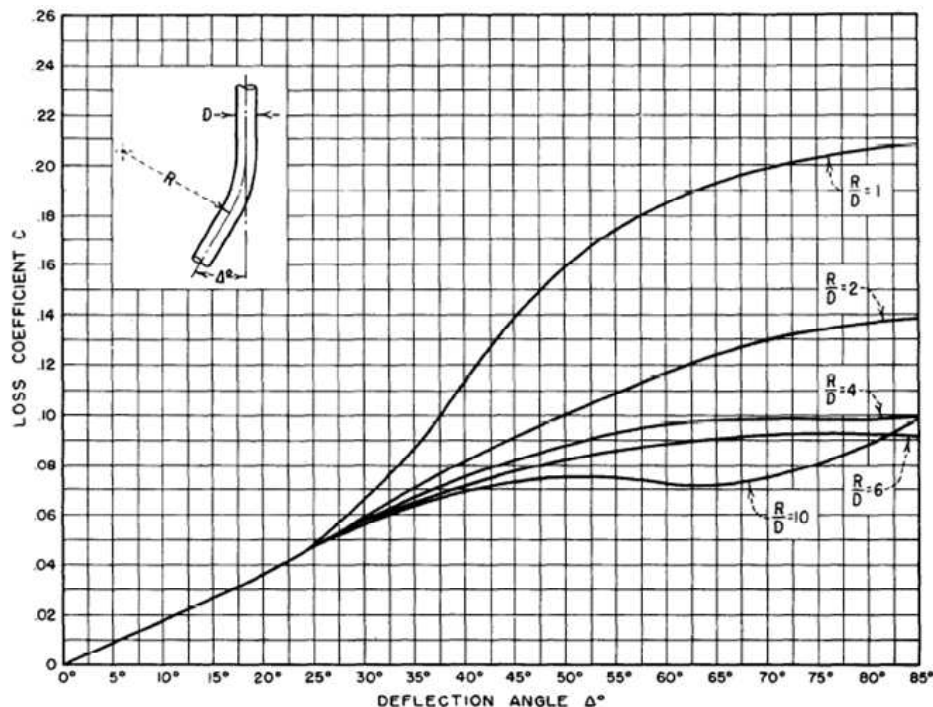


Figura 4.10: Determinação do coeficiente de perda de carga C devido à curva da tubulação

– Resultados

O Quadro 4.5 apresenta as perdas de carga estimada para vazão máxima de 7 m³/s, com correspondente velocidade máxima na entrada de 0,18 m/s.

Quadro 4.5: Cálculo das perdas de carga no circuito hidráulico

Perda	Valor
Perda de carga na entrada (m)	0,075
Perda de carga na grade (m)	0,008
Perda de carga nas comportas e stop-logs (m)	0,003
Perda de carga na curvas (m)	0,075
Perdas lineares (m)	0,139
Perdas totais	0,300

4.2.3.2 Válvula de Jato Oco

A válvula dispersora de jato oco é constituída de um corpo cilíndrico fixo que é flangeado na extremidade da tubulação de descarga com um cone na saída para direcionar o jato d'água. O fechamento e a regulação são efetuados através de um obturador cilíndrico móvel que desliza sobre o corpo alterando a seção cilíndrica aberta entre o obturador e o cone.

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Os coeficientes de descarga para diferentes aberturas das válvulas dispersoras de jato oco são apresentados no Quadro 4.6.

Quadro 4.6: Coeficientes de descarga da válvula dispersora de jato oco para diferentes aberturas

Abertura%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
C_{des}	0,08	0,19	0,30	0,41	0,50	0,59	0,67	0,74	0,80	0,85

As principais características do sistema da válvula de jato oco encontram-se no Quadro 4.7. A curva cota-descarga da válvula pode ser visualizada na figura subsequente.

Quadro 4.7: Dimensionamento da tomada d'água para irrigação

Cota da entrada da válvula dispersora	135,0 m
Número de válvulas	1 unidade
Diâmetro da válvula	φ 60" (1,524 m)

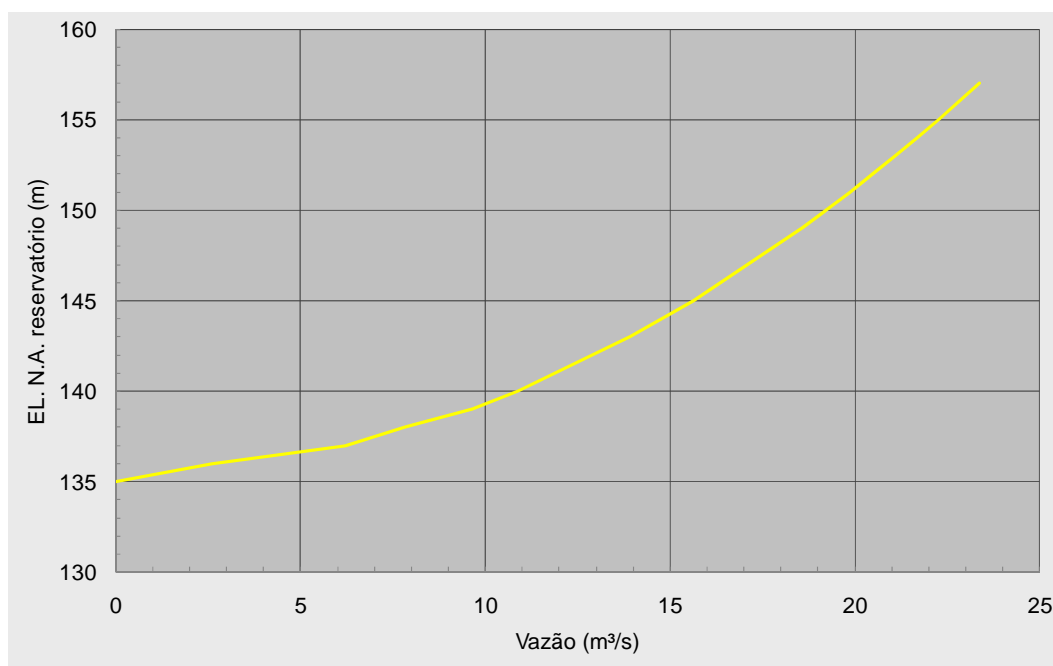


Figura 4.11: Curva Cota x Descarga da tomada d'água da barragem do Arroio Taquarembó

O impacto direto do jato da válvula dispersora pode provocar a erosão do leito do rio. A partir das avaliações geotécnicas, verifica-se que na base da barragem deve ser construída uma bacia de dissipação. Considerando as características da trajetória do jato, propõe-se uma bacia de dissipação conforme apresentado no quadro a seguir.

Quadro 4.8: Principais dimensões da bacia de dissipação da válvula de jato oco

Cota do fundo da bacia de dissipação (m)	129,0
Comprimento mínimo (m)	38,0

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

4.2.3.3 *Nível Operacional Mínimo*

O nível operacional mínimo foi estabelecido conforme formulação descrita a seguir de maneira a evitar formação de vórtices e entrada de ar na tubulação:

$$S = 0,725 \cdot V_c \cdot D^{0,5}$$

Sendo:

- * V_c é a velocidade após a comporta (m/s);
- * D é o diâmetro do conduto (m);
- * S é a submergência mínima (m).

Então o N.A. Mínimo Operacional e submergência mínima são, respectivamente, 140,00 m e 1,50 m.

4.2.4 Descarga de Fundo

A descarga de fundo consiste de uma tubulação junto ao leito do rio. O dimensionamento desta estrutura considerou a garantia de liberação da vazão ecológica. Essa estrutura de descarga de fundo será composta por uma tubulação com 1 m de diâmetro.

4.2.5 Abordagem sobre Aspectos Construtivos e Operacionais

Os materiais empregados e detalhes construtivos deverão ser cumpridos conforme descrito nos volumes de especificações técnicas.

Estruturas hidráulicas são obras delicadas pela interação fluido/superfície sólida sujeita a solicitações de elevada ordem no decorrer de sua vida útil. Nesse interim, vale ressaltar a importância das técnicas aplicadas às construções das estruturas pela adequada vedação, controle de fissuração, procedimentos de construção da superfície do concreto em contato com diferentes intempéries, água e materiais abrasivos, tal como: sedimentos e materiais provenientes da decomposição orgânica sujeitas em reservatórios.

4.3 Descarregador de Cheias

Em continuação serão revisados os cálculos relativos ao descarregador de cheias da Barragem do Arroio Taquarembó, face às novas perspectivas do projeto e diante de informações mais recentes. A necessidade de reavaliar os cálculos e a própria concepção da obra já foram já foi apontada no Capítulo 2 do presente relatório.

4.3.1 Concepção da Obra

Tendo em vista as informações geológico-geotécnicas, a conformação topográfica do local de inserção da obra e os estudos hidrológicos - hidráulicos na barragem Taquarembó, adotou-se um vertedouro frontal localizado no centro do vale e do próprio barramento. Em função desses mesmos fatores, o maciço da barragem foi definido no Projeto Básico para



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

ser constituído em concreto compactado a rolo – CCR, solução que harmoniza muito bem com o tipo de estravador proposto.

4.3.2 Propagação das Cheias no Reservatório

Com base na curva cota x área x volume do reservatório e cota x descarga do vertedouro, simulou-se o trânsito das cheias.

A metodologia de Puls é a mais conhecida e utilizada na análise das propagações de vazões em reservatórios. O método tem por base a equação da continuidade e a relação entre o armazenamento e a vazão do reservatório.

Esta equação, individualizada para um intervalo de tempo Δt , entre t e $t+1$, pode ser discretizada por:

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2}$$

Reorganizando essa equação com as variáveis conhecidas de um lado e as incógnitas de outro, resulta:

$$Q_{t+1} + 2 \cdot \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t}$$

Onde:

I = a vazão de entrada;

S = a função armazenamento;

Q = a vazão de saída.

No processo há, portanto, duas incógnitas a serem determinadas: a vazão Q_{t+1} e o armazenamento S_{t+1} . Para obter o hidrograma de saída é necessário estabelecer uma função auxiliar denominada curva de armazenamento. Essa função relaciona a vazão de saída e o volume armazenado no reservatório. Para se determinar esta função, considera-se que a linha de água é horizontal e que o armazenamento é obtido pela composição de duas outras relações: cota x volume e cota x descarga. A curva da cota x volume é obtida pela cubagem da topografia do lago e a cota x descarga pelo tipo de estrutura de controle de nível do reservatório.

A definição do comprimento do vertedouro baseou-se nos estudos hidrológicos que selecionaram três cheias máximas com diferentes durações, 7 dias, 10 dias e 20 dias, e tempo de recorrência da ordem de 10.000 anos, ou seja, risco anual de 0,01% de ocorrência. No item estudos sedimentológicos estão indicadas as correções das curvas cota x área x volume pelo acúmulo de 100 anos de depósito de sedimentos que serviram de dados de entrada para essas simulações. As figuras subseqüentes apresentam essas simulações.

O resultado é apresentado no Quadro 4.9 e figuras subseqüentes. Para manter a cota de coroamento da barragem mais próxima do preconizado no projeto básico, o comprimento do vertedouro foi alterado de 130 metros para 160 metros. O referido quadro demonstra o efeito da cheia máxima provável no N.A. do reservatório. A condição mais desfavorável ocorreu

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

para a evento com 7 dias de duração e pico de vazão igual a 2.546,03 m³/s, já amortecido pelo lago. O coeficiente de descarga do vertedouro de ogiva empregado foi igual e constante a 2,18.

Quadro 4.9: Propagação da cheia Tr 10.000 anos com diferentes dias de duração

Volume	7 dias	10 dias	20 dias
Qpico afluente	2.587,14	2.449,24	2.355,38
Qpico efluente	2.546,03	2.407,42	2.322,78
Coeficiente de amortecimento	2 %	2 %	1 %
Altura máxima sobre vertedouro.	3,62	3,48	3,40
Cota do N.A. no reservatório Max.	160,62	160,48	160,40
Cota de Coroamento adotada no Projeto Básico	160,80	160,80	160,80
Cota de Coroamento adotada no Projeto Executivo	161,00	161,00	161,00
Borda Livre (m)	0,38	0,52	0,60
Comprimento vertedouro (m)	160,00	160,00	160,00

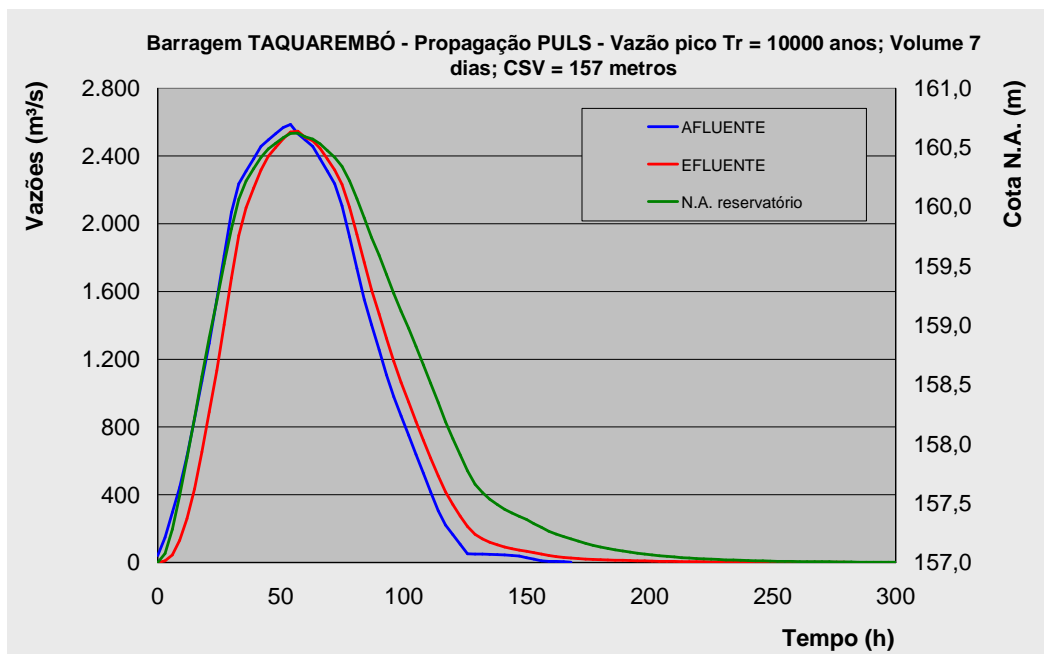


Figura 4.12: Propagação da Cheia Tr 10.000 anos com volume de 7 dias de duração

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

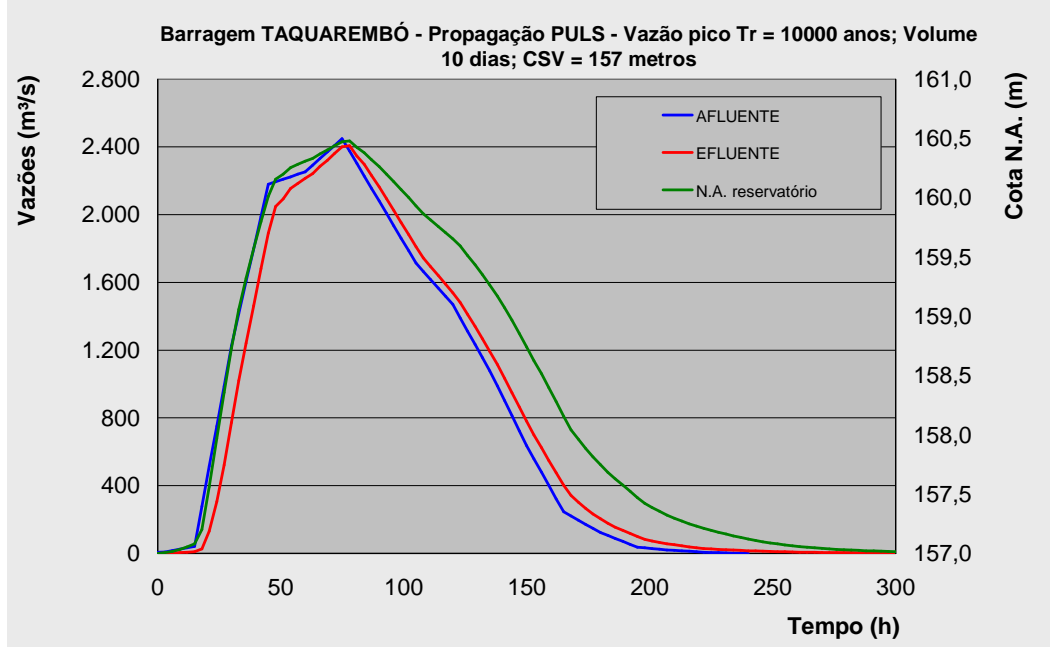


Figura 4.13: Propagação da Cheia Tr 10.000 anos com volume de 10 dias de duração

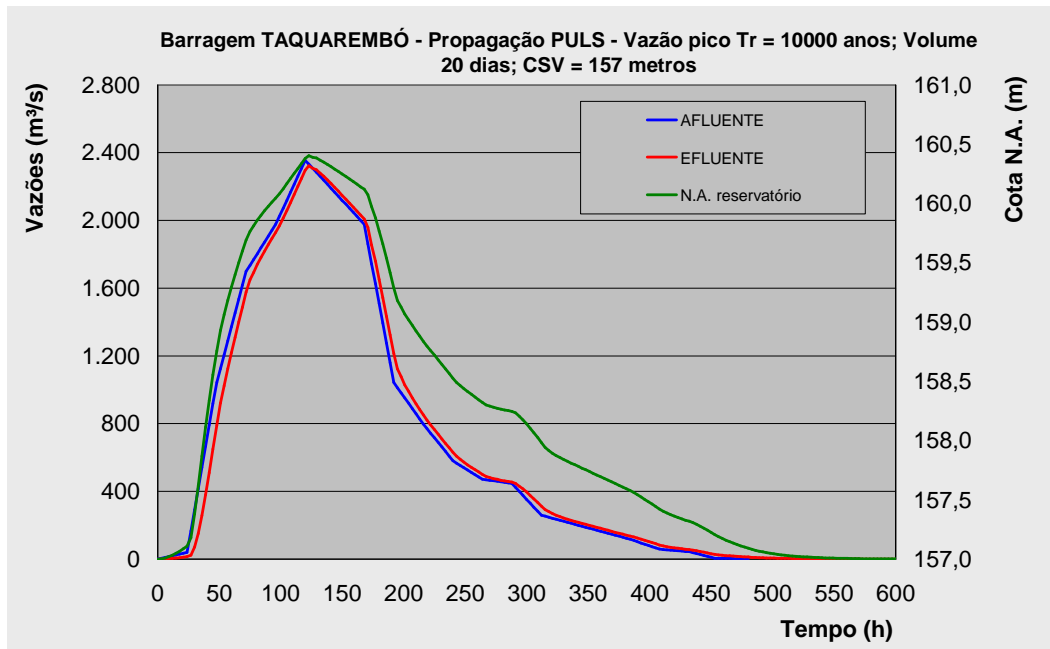


Figura 4.14: Propagação da Cheia Tr 10.000 anos com volume de 20 dias de duração

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap04.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

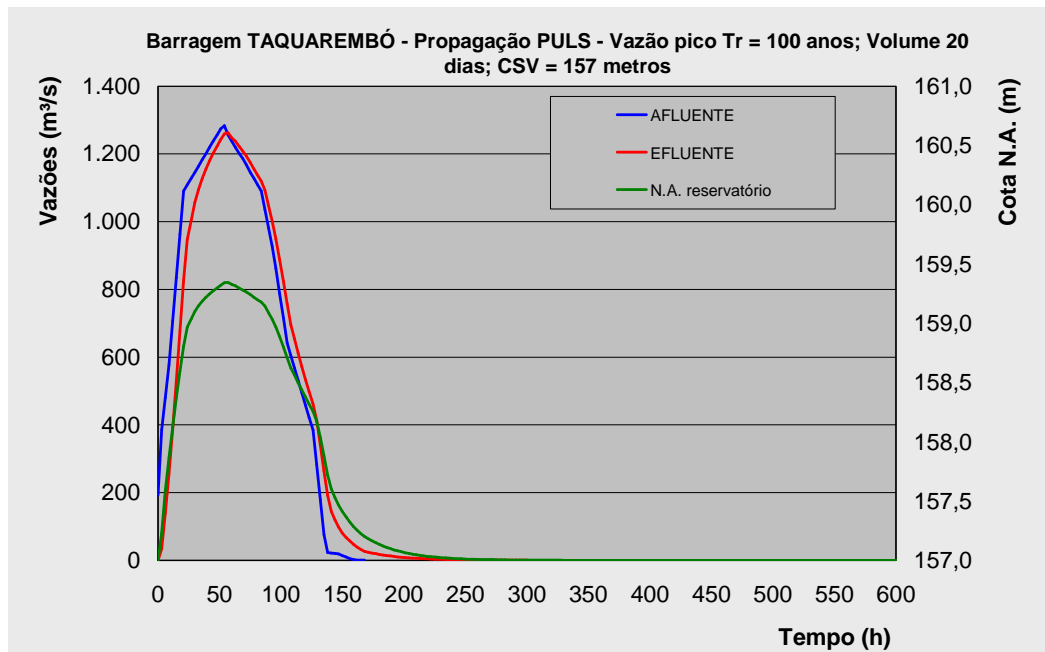


Figura 4.15: Propagação da Cheia Tr 100 anos com volume de 7 dias de duração

Quadro 4.10: Hidrogramas afluentes e efluentes a barragem Taquarembó e vertedouro com comprimento 160 m

Dias	Tempo (h)	Vazões Afluentes (m³/s)			Vazões Efluentes (m³/s)		
		7 dias	10 dias	20 dias	7 dias	10 dias	20 dias
0	0	40,98	6,43	2,57	0,00	0,00	0,00
0,1	3	147,84	8,25	4,96	9,80	0,77	0,39
0,3	6	295,67	16,50	9,92	45,83	2,04	1,24
0,4	9	443,51	24,75	14,88	130,56	4,35	2,62
0,5	12	628,31	33,00	19,83	260,18	7,23	4,35
0,6	15	850,06	41,25	24,79	434,98	10,64	6,40
0,8	18	1071,82	277,92	29,75	653,21	26,76	8,74
0,9	21	1293,57	514,60	34,71	888,20	131,17	11,33
1,0	24	1552,29	751,27	39,67	1133,25	305,91	14,17
1,1	27	1811,00	987,94	165,14	1403,98	521,87	23,52
1,3	30	2069,72	1224,62	290,60	1679,41	772,79	71,43
1,4	33	2236,03	1415,66	416,07	1930,18	1020,48	150,90
1,5	36	2309,95	1606,70	541,54	2094,92	1240,89	257,81
1,6	39	2383,87	1797,74	667,01	2211,22	1462,37	380,03
1,8	42	2457,79	1988,78	792,48	2317,41	1681,24	510,45
1,9	45	2494,75	2179,82	917,94	2398,20	1891,67	649,83
2,0	48	2531,71	2194,52	1043,41	2450,90	2048,79	791,27
2,1	51	2568,66	2209,21	1125,41	2502,64	2093,79	921,30
2,3	54	2587,14	2223,91	1207,41	2541,68	2154,76	1024,13
2,4	57	2531,71	2238,60	1289,41	2546,03	2185,00	1124,64
2,5	60	2494,75	2253,30	1371,40	2509,79	2215,14	1219,45

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap04.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Dias	Tempo (h)	Vazões Afluentes (m³/s)			Vazões Efluentes (m³/s)		
		7 dias	10 dias	20 dias	7 dias	10 dias	20 dias
2,6	63	2457,79	2292,49	1453,40	2490,61	2243,49	1309,87
2,8	66	2383,87	2331,67	1535,40	2446,08	2285,43	1400,23
2,9	69	2309,95	2370,86	1617,40	2381,63	2321,98	1486,41
3,0	72	2236,03	2410,05	1699,40	2317,46	2361,74	1576,37
3,1	75	2106,67	2449,24	1734,07	2232,35	2400,26	1648,68
3,3	78	1921,88	2375,76	1768,74	2097,12	2407,42	1693,38
3,4	81	1737,08	2302,28	1803,41	1936,77	2345,48	1740,75
3,5	84	1552,29	2228,81	1838,08	1772,18	2296,77	1780,53
3,6	87	1404,45	2155,33	1872,75	1610,15	2230,42	1819,60
3,8	90	1256,61	2081,85	1907,42	1467,08	2165,02	1856,49
3,9	93	1108,78	2008,37	1942,09	1324,37	2094,78	1893,00
4,0	96	978,21	1934,90	1976,76	1187,07	2026,18	1929,01
4,1	99	864,91	1861,42	2024,09	1062,93	1954,46	1967,90
4,3	102	751,62	1787,94	2071,41	946,98	1882,63	2014,12
4,4	105	638,32	1714,47	2118,74	832,35	1811,13	2058,93
4,5	108	527,51	1665,48	2166,07	722,36	1745,14	2105,86
4,6	111	416,71	1616,50	2213,40	615,92	1693,47	2153,50
4,8	114	305,90	1567,51	2260,73	512,32	1640,16	2200,77
4,9	117	221,89	1518,53	2308,05	416,67	1589,80	2248,17
5,0	120	164,69	1469,54	2355,38	341,31	1539,39	2295,49
5,1	123	107,49	1391,17	2331,83	274,70	1482,31	2322,78
5,3	126	50,29	1312,79	2308,27	212,11	1411,67	2306,80
5,4	129	49,74	1234,42	2284,72	166,04	1340,55	2298,82
5,5	132	49,19	1156,04	2261,17	139,40	1267,34	2279,74
5,6	135	48,63	1077,66	2237,61	120,28	1193,16	2261,27
5,8	138	46,99	989,49	2214,06	104,68	1115,51	2239,75
5,9	141	44,26	901,32	2190,50	91,82	1033,09	2217,94
6,0	144	41,54	813,15	2166,95	80,99	949,59	2195,22
6,1	147	38,81	724,97	2143,18	72,73	865,38	2172,23
6,3	150	29,20	636,80	2119,40	65,93	781,19	2148,81
6,4	153	19,59	558,43	2095,63	57,80	699,05	2125,31
6,5	156	9,98	480,05	2071,85	49,52	623,89	2101,67
6,6	159	7,48	401,67	2048,08	41,67	547,14	2078,49
6,8	162	5,90	323,30	2024,31	35,55	475,72	2055,08
6,9	165	4,30	244,92	2000,53	30,22	403,09	2031,53
7,0	168	2,55	220,43	1976,76	25,69	342,61	2007,89
7,1	171		195,94	1860,09	23,30	302,53	1958,67
7,3	174		171,45	1743,42	20,87	264,93	1854,31
7,4	177		146,95	1626,75	18,83	231,35	1759,56
7,5	180		122,46	1510,09	16,98	203,52	1650,96
7,6	183		105,32	1393,42	15,32	177,90	1543,20
7,8	186		88,17	1276,75	13,81	155,50	1433,68
7,9	189		71,03	1160,08	12,46	135,51	1324,02
8,0	192		53,88	1043,41	11,23	117,68	1214,12
8,1	195		36,74	1012,59	10,13	99,75	1122,76

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Dias	Tempo (h)	Vazões Afluentes (m³/s)			Vazões Efluentes (m³/s)		
		7 dias	10 dias	20 dias	7 dias	10 dias	20 dias
8,3	198		32,82	981,78	9,14	83,68	1077,97
8,4	201		28,90	950,96	8,24	73,00	1028,80
8,5	204		24,98	920,14	7,43	64,85	989,29
8,6	207		21,06	889,32	6,70	57,27	952,04
8,8	210		17,14	858,50	6,04	50,33	917,54
8,9	213		14,70	827,69	5,45	44,05	884,11
9,0	216		12,25	796,87	4,92	38,58	851,63
9,1	219		9,80	769,90	4,43	33,61	820,68
9,3	222		7,35	742,94	4,00	29,07	793,12
9,4	225		4,90	715,97	3,61	25,47	765,07
9,5	228		3,92	689,00	3,25	23,32	737,61
9,6	231		2,94	662,04	2,93	21,30	710,24
9,8	234		1,96	635,07	2,64	19,38	683,02
9,9	237		0,98	608,11	2,39	17,55	657,33
10,0	240		0,00	581,14	2,15	15,81	630,99
10,1	243			567,38	1,94	14,20	607,27
10,3	246			553,62	1,75	12,79	589,89
10,4	249			539,87	1,58	11,53	572,70
10,5	252			526,11	1,42	10,39	556,90
10,6	255			512,35	1,28	9,36	542,09
10,8	258			498,59	1,16	8,43	528,19
10,9	261			484,83	1,04	7,60	514,17
11,0	264			471,08	0,94	6,85	500,28
11,1	267			468,13	0,85	6,17	488,49
11,3	270			465,19	0,77	5,56	481,79
11,4	273			462,24	0,69	5,01	475,55
11,5	276			459,30	0,62	4,51	470,49
11,6	279			456,36	0,56	4,07	466,02
11,8	282			453,41	0,51	3,66	462,03
11,9	285			450,47	0,46	3,30	458,34
12,0	288			447,52	0,41	2,97	454,89
12,1	291			423,97	0,37	2,68	447,61
12,3	294			400,41	0,33	2,41	430,84
12,4	297			376,86	0,30	2,18	414,59
12,5	300			353,31	0,27	1,96	396,03
12,6	303			329,75	0,25	1,77	376,14
12,8	306			306,20	0,22	1,59	355,20
12,9	309			282,65	0,20	1,43	333,53
13,0	312			259,09	0,18	1,29	311,61
13,1	315			253,20	0,16	1,16	292,56
13,3	318			247,31	0,15	1,05	280,46
13,4	321			241,43	0,13	0,95	269,29
13,5	324			235,54	0,12	0,85	259,76
13,6	327			229,65	0,11	0,77	251,18
13,8	330			223,76	0,10	0,69	243,35

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Dias	Tempo (h)	Vazões Afluentes (m³/s)			Vazões Efluentes (m³/s)		
		7 dias	10 dias	20 dias	7 dias	10 dias	20 dias
13,9	333			217,87	0,09	0,62	236,05
14,0	336			211,98	0,08	0,56	229,14
14,1	339			206,10	0,07	0,51	222,74
14,3	342			200,21	0,06	0,46	217,11
14,4	345			194,32	0,06	0,41	211,29
14,5	348			188,43	0,05	0,37	205,48
14,6	351			182,54	0,05	0,33	199,64
14,8	354			176,65	0,04	0,30	193,80
14,9	357			170,77	0,04	0,27	187,94
15,0	360			164,88	0,03	0,24	182,08
15,1	363			158,99	0,03	0,22	176,20
15,3	366			153,10	0,03	0,20	170,33
15,4	369			147,21	0,03	0,18	164,45
15,5	372			141,32	0,02	0,16	158,57
15,6	375			135,43	0,02	0,14	152,69
15,8	378			129,55	0,02	0,13	146,80
15,9	381			123,66	0,02	0,12	141,29
16,0	384			117,77	0,02	0,11	136,12
16,1	387			110,41	0,01	0,10	130,55
16,3	390			103,05	0,01	0,09	124,40
16,4	393			95,69	0,01	0,08	118,02
16,5	396			88,33	0,01	0,07	111,42
16,6	399			80,97	0,01	0,06	104,66
16,8	402			73,61	0,01	0,06	97,77
16,9	405			66,25	0,01	0,05	90,78
17,0	408			58,88	0,01	0,05	83,71
17,1	411			57,03	0,01	0,04	77,27
17,3	414			55,17	0,01	0,04	73,40
17,4	417			53,31	0,00	0,03	69,93
17,5	420			51,46		0,03	66,74
17,6	423			49,60		0,03	63,77
17,8	426			47,74		0,02	60,99
17,9	429			45,88		0,02	58,37
18,0	432			44,03		0,02	55,89
18,1	435			38,52		0,02	53,16
18,3	438			33,02		0,02	49,57
18,4	441			27,52		0,01	45,71
18,5	444			22,01		0,01	41,55
18,6	447			16,51		0,01	37,17
18,8	450			11,01		0,01	32,59
18,9	453			5,50		0,01	27,86
19,0	456			5,10		0,01	24,69
19,1	459			4,70		0,01	22,76
19,3	462			4,30		0,01	20,93
19,4	465			3,90		0,01	19,24

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Dias	Tempo (h)	Vazões Afluentes (m³/s)			Vazões Efluentes (m³/s)		
		7 dias	10 dias	20 dias	7 dias	10 dias	20 dias
19,5	468			3,50		0,01	17,68
19,6	471			2,48		0,01	16,21
19,8	474			1,56		0,00	14,75
19,9	477			0,57			13,34
20,0	480			0,00			12,00
Volume (hm³)		214,69	276,55	442,44			

Com as simulações considera-se razoável estabelecer a cota de coroamento em uma nova elevação igual a 161 metros, bem como o vertedouro aumentar 30 metros em relação ao projeto básico, ou seja, igual a 160 metros de comprimento.

4.3.3 Definição do Perfil Vertente

A definição do perfil vertente de descarregadores de soleira espessa procura coincidir com a face inferior da lâmina líquida do escoamento, objetivando otimizar a descarga da estrutura. USBR (1987) propôs a seguinte equação para definição da ogiva da soleira descarregadora na parte de jusante:

$$\frac{y}{H_0} = -K \cdot \left(\frac{x}{H_0} \right)^n$$

sendo: y e x as coordenadas vertical e horizontal, respectivamente, da calha vertedoura no sentido do escoamento; H_0 é a carga de projeto e K e n são constantes que dependem da velocidade de aproximação e da inclinação da face de montante, ver Figura 4.16.

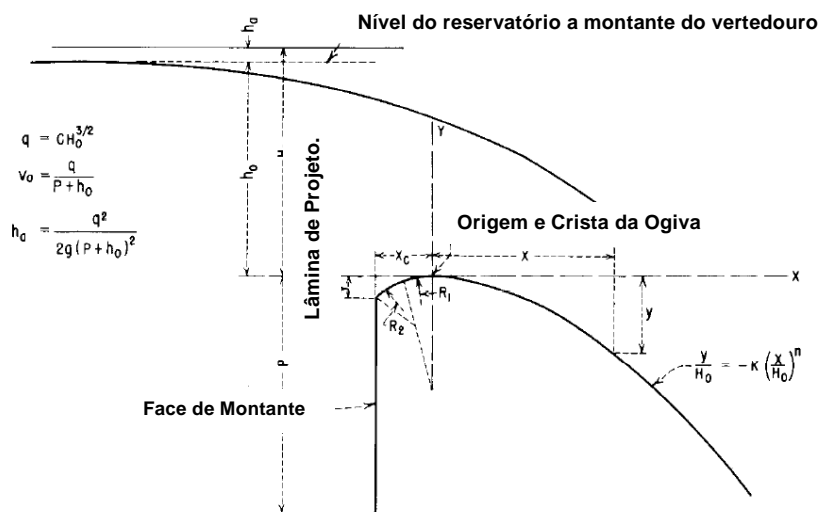


Figura 4.16: Conformação do perfil proposto por USBR (1987)

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap04.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Esse perfil desenvolve-se até o ponto de tangência com a declividade da calha vertente.

À medida que a vazão aumenta, a face inferior da lâmina líquida tende a afastar-se da soleira, desenvolvendo-se depressões que dão lugar ao aumento da velocidade, e, conseqüentemente de descarga. A ocorrência de grandes aumentos de vazão pode causar o aparecimento de cavitação e da separação do escoamento. Sendo assim, definiu-se o perfil vertente para a maior carga, correspondente a ocorrência da vazão decamilenar, resultando na equação:

$$y = -0,15647 \cdot x^{1,86971}$$

Sendo:

$X_c = -1,0691$ m;

$Y_c = -0,4748$ m;

$R_1 = 2,0101$ m; e

$R_2 = 0,8786$ m.

Este perfil segue até a coordenada $X_{lim} = 5,31105$ m e $Y_{lim} = -3,55072$ m, a partir do qual a calha segue escalonada com degraus de 0,60 m de altura e declividade 1V:0,8H. A inclinação do paramento de jusante do vertedouro deverá ser confirmada através de cálculos de estabilidade, inseridos na análise estrutural do maciço.

A parte curva do perfil a montante também segue as recomendações do USBR (1987).

4.3.4 Dimensionamento do Sistema de Dissipação de Energia

Neste item deve se considerar a princípio a solução adotada no Projeto Básico e posteriormente serão entabuladas análises relativas a solução técnica que melhor se adpte as diversas condicionantes do problema.

4.3.4.1 Considerações Sobre a Solução Proposta

No Projeto Básico o dissipador de energia empregado a jusante do vertedouro foi do tipo concha (Flip Bucket), dimensionado através do emprego da metodologia preconizada U.S.B.R. (*United States Bureau of Reclamation*).

Essa metodologia indica que quando a profundidade do leito a jusante do dissipador é igual ou superior à altura conjugada lenta requerida pelo ressalto hidráulico, o dissipador de energia tipo concha ("roller") poderá ser utilizado de uma forma bastante satisfatória. Neste caso a dissipação é feita pelos "rolos" que se formam a jusante do dissipador. Trata-se de uma estrutura que dissipa energia não só em seu interior mas, principalmente, ao longo do leito do arroio. Como este tipo de dissipador tem a característica de dissipar pequena percentagem da energia na estrutura, é de se esperar que a energia residual seja elevada, portanto é indicado para o caso em que o leito do rio oferece resistência satisfatória ou, caso contrário, deve-se prever que possa ocorrer grande erosão a jusante. A Figura 4.17 a seguir mostra as linhas de corrente que aparecem em um "roller". Nota-se que a tendência da corrente é trazer material solto e depositar no pé da estrutura.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

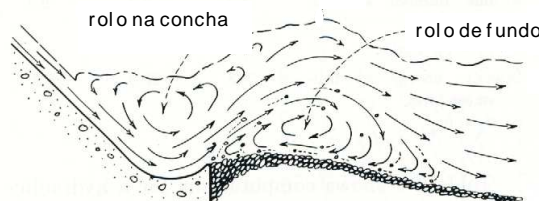


Figura 4.17: Correntes em um Dissipador Tipo Concha ("Roller")

Trabalhos mais recentes sobre a medição de pressão a jusante do dissipador do tipo concha, Marques (1995) e Marques, Drapeau e Verrette (1996), indicaram que as flutuações de pressão ficam constantes e mínimas para comprimentos de roller superiores a 30% da zona de influência do dissipador, ou seja, 18 vezes a relação $\Delta H / Fr = (NA_{mon\ tan\ te} - NA_{jusante}) / n^{\circ\ de\ Froude\ entrada\ do\ dissipador}$. Para essas condições, teria-se uma zona de influência do dissipador tipo concha da ordem de 70 metros, o que corresponde a um comprimento da bacia mínimo recomendado pelos autores supracitados de 21 metros. Estruturas com comprimentos de "rollers" inferiores a esse limite demonstram em trabalhos experimentais de modelo reduzido forte sucção e instabilidade no escoamento o que pode induzir um retroavanço da fossa de erosão para o pé do vertedouro, colocando em risco a segurança da obra.

Dessa maneira, com o intuito de verificar novas proposições que minimizem custos e materiais de construção, constatou que o emprego de vertedouro em degraus poderia incorrer em um tamanho de bacia de dissipação por ressalto hidráulico semelhante a calculada para o dissipador tipo concha. A revisão da curva chave mostrou a conveniência do emprego dessa forma de dissipador tipo bacia por ressalto, o que, indica uma solução mais econômica sob dois aspectos elementares: facilidade de construção da obra (tempo e praticidade) e menores volumes de concreto dispensado para conclusão da barragem.

Portanto, na sequência apresenta-se o cálculo desse dissipador. No que se refere ao aspecto técnico e econômico, o aumento da largura do vertedouro de 130 para 140 metros, em decorrência da atualização/revisão dos estudos hidrológicos, veio a harmonizar com a solução da bacia dissipação por ressalto hidráulico no pé da barragem, visto que esse incremento auxilia a evitar cavitação na calha em degraus localizada no paramento de jusante do descarregador de cheias.

4.3.4.2 Vertedouro em Degraus

O vertedouro em degraus empregado para extravasamento das cheias foi dimensionado maximizando sua eficiência como dissipador de energia. O critério delineado por Tozzi (1992) forneceu a dimensão "ótima" dos degraus, na qual seu aumento não representa ganho significativo na dissipação da energia do escoamento. Tozzi (1992) apresentou uma formulação para previsão dessa grandeza:

$$k_s = 0,0764 \cdot q^{2/3}$$

Sendo:

k_s = rugosidade de forma da superfície da calha de escoamento (m);

q = vazão específica (m³/s.m).

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

O perfil da lâmina de água foi obtido segundo a metodologia proposta por Matos (1999) e Meireles (2004), consubstanciados pelas medições experimentais realizados em modelos reduzidos. Para valores de d_c/h superiores a 3 (aqui igual a $d_c/h = 4,49$), os autores propuseram a seguinte expressão para determinação da profundidade equivalente (d):

$$\frac{d}{d_i} = 0,653 + 0,347 \cdot \exp\left(\frac{s'}{27,6}\right)$$

Sendo:

d_i = profundidade equivalente na seção de afloramento da camada limite (m);

$s' = \frac{(L - L_i)}{d_i}$ = parâmetro adimensional de posição que relaciona uma posição longitudinal

ao longo do vertedouro com a posição de afloramento da camada limite (L_i) e a profundidade nesse local.

Associado a esses modelos, também se verificou a evolução do campo de pressões extremas ao longo da calha para a cheia com 10.000 anos de recorrência, conforme o modelo teórico-experimental apresentado por Gomes (2006). A recomendação fornecida pelo autor diz que se para pressões com 0,1% de probabilidade de ocorrência de valores forem superiores a aquelas cuja ordem seja da tensão de vapor da água, não haverá risco de incipiência à cavitação nos degraus, portanto sem danos a integridade física da estrutura. Os resultados dessas previsões são apresentados nas figuras que se seguem. Para a cheia máxima provável, verificou-se que para o vertedouro estudado a pressão da ordem da tensão de vapor não se estabeleceu.

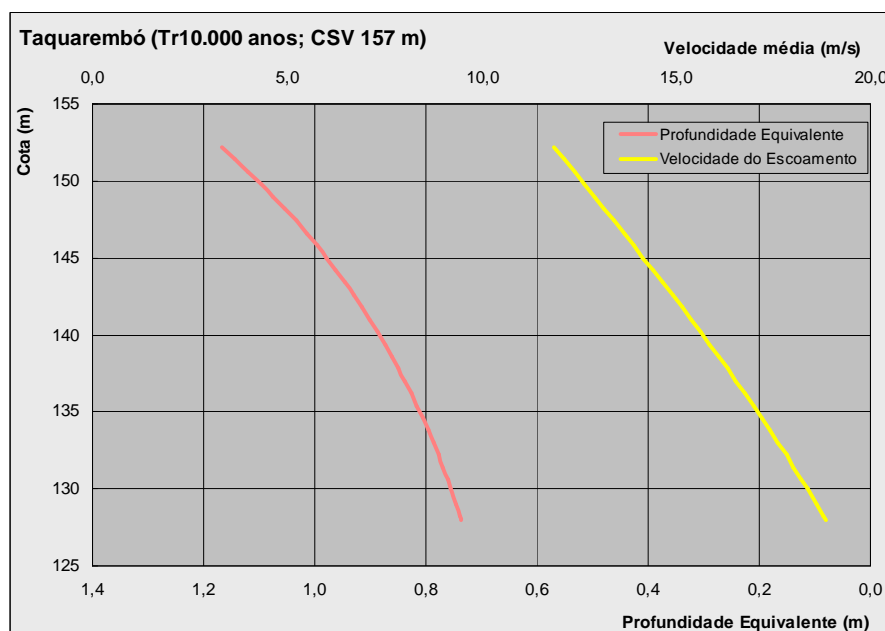


Figura 4.18: Profundidade equivalente de água e velocidade média do escoamento para a cheia com 10.000 anos de recorrência na barragem Taquarembó

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

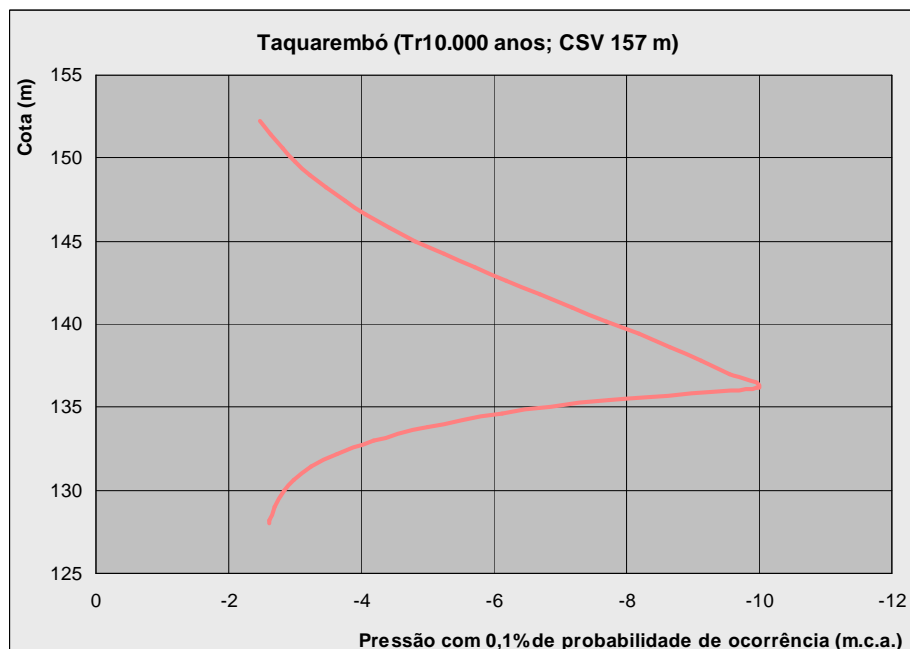


Figura 4.19: Pressão extrema com 0,1% de probabilidade de ocorrência obtidas do modelo teórico-experimental de Gomes (2006) para o vertedouro em degraus da barragem Taquarembó

4.3.4.3 Bacia de Dissipação

Optou-se por uma bacia de dissipação do tipo ressalto hidráulico a jusante do vertedouro em degraus. O comprimento da bacia de dissipação foi determinado pela formulação descrita por Gomes (2000). Segundo o autor o trecho do ressalto com maiores flutuações de nível de água e pressões estão entre $2 \cdot (h_2 - h_1)$ e $4 \cdot (h_2 - h_1)$. Devido às condições favoráveis de fundação encontradas no local, rocha basáltica sã na elevação da bacia de dissipação EL. 129 m, conforme informações obtidas no Projeto Básico, adotar-se-á o comprimento mínimo igual a formulação a seguir:

$$L_j = 4 \cdot (h_2 - h_1)$$

Sendo:

L_j = comprimento final do trecho de maiores flutuações de pressões do ressalto hidráulico (m), segundo Gomes (2000);

h_1 = profundidade conjugada rápida (m) do ressalto hidráulico formado;

h_2 = profundidade conjugada lenta (m) do ressalto hidráulico formado.

A relação entre as profundidades conjugadas do ressalto foi obtida pelo princípio de conservação de forças, deduzida primeiramente por Bélanger em 1828 como se segue:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2} \cdot \left(\sqrt{1 + 8 \cdot Fr_1^2} - 1 \right)$$

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Sendo:

Fr_1 = número adimensional de Froude na seção da profundidade conjugada rápida.

O quadro subsequente apresenta as principais características do vertedouro em degraus e da bacia de dissipação.

Quadro 4.11: Característica do vertedouro em degraus e da bacia de dissipação empregados

Declividade	Altura dos Degraus (m)	Cota de Fundo da Bacia de Dissipação (m)	h_1 (m)	h_2 (m)	Fr_1	Comprimento da Bacia de Dissipação (m)
1V:0,8H	0,60	129,00	0,75	6,89	6,9	25 m

4.3.5 Canal de Restituição

O canal de restituição é composto pela adequação do leito do rio na saída da bacia de dissipação até o leito natural do rio Taquarembó nos primeiros 50,0m após a referida bacia de dissipação.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap4.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

5 PROJETO EXECUTIVO DAS FUNDAÇÕES E ESCAVAÇÕES

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:

162





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

5 PROJETO EXECUTIVO DAS FUNDAÇÕES E ESCAVAÇÕES

A seguir estão descritos os principais aspectos das fundações e escavações a serem executadas no local de implantação da barragem.

5.1 Considerações sobre o Perfil Geológico-Geotécnico do Eixo

No capítulo 3, e nos Anexos, são apresentados os Estudos Geológico-Geotécnicos complementares os quais foram sintetizados nos Desenhos BAR-GEO-02 (perfil geológico-geotécnico) e BAR-GEO-03 (levantamentos geofísicos na área da barragem), conforme Peças Gráficas.

Ocorrem na fundação da barragem riolitos, lapilitos, tufo-brecha vulcânica e lápili-tufo, alterados a são, fraturados a pouco fraturados, com fragmentos de composições variadas. Sobrepostos a estes materiais verificam-se camadas de solo residual e aluvionar (calha do rio).

No trecho da calha do arroio e margens, as escavações deverão ser executadas em materiais saturados ou parcialmente saturados, tendo sido encontrado, ao longo do eixo, nível d'água nas sondagens SME-18, SME-02, SME-03, SME-14, SME-04A e SME-05. Nestas sondagens o lençol freático foi interceptado em profundidades variáveis entre 1,60 e 5,80m.

No leito ou calha menor do arroio Taquarembó, aproximadamente entre estacas 9 e 10, o fundo apresenta rocha praticamente aflorante com reduzida espessura de depósito arenoso.

Nos segmentos de cotas mais elevadas das ombreiras, tipicamente acima da elevação 140m, não foram encontrados níveis d'água até o limite das profundidades perfuradas pelas sondagens complementares. Até a profundidade de 10m, todos os furos apresentaram-se "secos"; todavia, podem eventualmente existir zonas com lençol sazonal não interceptado pelas sondagens.

Assim sendo, a análise do perfil geotécnico longitudinal, tendo em consideração todos os levantamentos geológicos de campo e as sondagens realizadas, possibilitou a definição dos níveis mínimos recomendados para as escavações obrigatórias a serem realizadas, bem como para o tratamento das fundações (injeções).

5.2 Projeto das Escavações

Para a definição da "linha" e platôs de escavação longitudinal, e definição dos taludes de corte à montante e à jusante da barragem, foram utilizadas as informações obtidas pelos Estudos Geológico-Geotécnicos. Os principais condicionantes estão descritos a seguir.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

5.2.1 Critérios Adotados para Definição dos Taludes e Profundidades das Escavações

As escavações na área da barragem deverão ser executadas em diferentes materiais, conforme se ilustra no Desenho BAR-GEO-03, variando desde solos litólicos e aluvionares até rochas alteradas e rochas “sanas” de composição riolítica.

Entre os parâmetros principais considerados para a determinação das profundidades mínimas das escavações obrigatórias destacam-se: a geometria do maciço (projeto hidráulico); o grau de alteração e qualidade da rocha; a classificação RQD (Rock Quality Designation); o fraturamento e a condutividade hidráulica do substrato.

Como premissa básica, nas escavações obrigatórias foi considerada a necessidade de remoção total de materiais terrosos e rochosos de menor resistência e de maior compressibilidade (classificados como R5 e R4, pela Classificação RQD). No mínimo, as fundações da barragem deverão estar assentes sobre material rochoso classificado como R3 (RQD>50%).

Além disso, zonas com características permeáveis ($k > 10^{-3}$ cm/s), tais como, camadas de solo de alteração ou aluvionar, material rochoso muito alterado, fragmentado e fraturado, também foram consideradas como de remoção obrigatória, de forma a propiciar melhores condições de suporte e estabilidade da fundação da barragem.

O Quadro 5.1 a seguir apresenta um resumo das ocorrências e das espessuras desses materiais ao longo do perfil do eixo do barramento e as inclinações mínimas recomendadas para os taludes provisórios das escavações, conforme a natureza e composição destes materiais.

Quadro 5.1: Ocorrência de materiais e taludes recomendados para as escavações provisórias

Local	Estacas Aproximadas	Espessura (m)	Tipo de Material	Talude Recomendado (V:H)
Ombreira Direita	0 a 6 (120m)	0,50 a 3,5	Areia Argilosa com cascalho (pedregulhos de riolito) [1ª CAT.]	1:1
		> 3,50	Lapilito ou lúpili-tufo ou tufo-brecha de composição riolítica de cor avermelhada e/ou cinza esverdeada com fragmentos de rocha de composição variada [2ª ou 3ª CAT.]	2:1
Calha do Rio	6 a 12 (120m)	0,5 a 3,5	Silte arenoso aluvionar, cor variegada, saturado [1ª CAT.]	1:1,5
		1,0 a 4,0	Riolito alterado, muito fragmentado [2ª CAT.]	1:1
		> 4,0	Tufo-brecha vulcânica de composição riolítica [3ª CAT.]	4:1 a 8:1
Ombreira Esquerda	12 a 19 + 10,00 (150m)	0,5 a 1,50	Areia argilosa com cascalho (pedregulhos de riolito) [1ª CAT.]	1:1
		4,0 a 9,0	Riolito alterado muito fragmentado [2ª CAT. ou 3ª CAT.]	2:1
		> 10,0	Lapilito de composição riolítica de cor cinza esverdeada ou rosada [3ª CAT.]	4:1 a 8:1

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

Tendo em conta esses critérios foi então concebido o projeto geral das escavações, conforme o Desenho BAR-TER-01 (Planta Geral das Escavações). Conforme o andamento das escavações das obras, mediante parecer geológico-geotécnico emitido pela Fiscalização de Obras, este plano poderá ser revisado/ajustado caso ocorram fatos supervenientes.

As seções transversais das escavações estão apresentadas nos Desenhos BAR-TER-02 a BAR-TER-14, com recomendação de utilização de pré-fissuramento, especialmente nas escavações em material rochoso na área do bloco hidráulico. Nos Desenhos BAR-TER-15 e BAR-TER-17, respectivamente, apresentam-se o perfil longitudinal das escavações no eixo e destas a 48,20m a jusante do eixo nas ombreiras. A planta das escavações na ombreira esquerda está apresentada no Desenho BAR-TER-16.

Por oportuno, recomenda-se que todas as escavações sejam acompanhadas e mapeadas por geólogo experiente, em tempo de análises e observações complementares, visando a segurança e durabilidade da obra.

5.2.2 Escavações nas Ombreiras

Conforme apresentado anteriormente no Quadro 5.1, nas ombreiras verifica-se a ocorrência de camada superficial de areia argilosa com cascalho/pedregulhos de riolito ou saprolitos. Na ombreira direita este material encontra-se sobreposto ao lapilito ou lúpili-tufo ou tufo-brecha de composição riolítica. Já na ombreira esquerda, este se sobrepõe ao riolito alterado e muito fragmentado, seguindo-se da rocha do tipo lapilito/riolito.

Há necessidade de total escavação das camadas de solo, alteração de rocha ou rochas alteradas até que se atinja topo rochoso que atenda as condições de suporte e estabilidade requeridas no cálculo estrutural do maciço da barragem.

Assim denso, na ombreira esquerda, principalmente, houve significativo aprofundamento da previsão de escavações em relação ao proposto no projeto básico. Este aprofundamento ocorreu tanto em profundidade como no avanço do “embutimento” lateral do maciço pela ombreira. Mesmo assim, após a interface do limite das escavações na ombreira, na direção do eixo, ainda restaram camadas espessas de saprolitos e rochas alteradas que deverão ser obrigatoriamente tratadas com injeções de cimento, conforme projeto específico.

Tendo em conta a necessidade de remoção obrigatória dos solos litólicos, saibros e alterações de rocha das ombreiras, para assentamento das fundações em topo rochoso resistente e incompressível, e considerando a existência de espessuras significativas destes materiais (1,50 a 9,0m), recomendando-se que estes sejam escavados e reservados em “pilhas de estoque” para reaproveitamentos em aterros e/ou revestimentos. Observa-se que são solos saprolíticos, areno-siltosos e/ou areno-argilosos, com marcante presença de pedregulhos e pedras, os quais se prestam para utilização, por exemplo, nas enscadeiras e/ou conformação de aterros de estradas, já que apresentam elevada capacidade de suporte quando compactados, embora semipermeáveis. Além disto, as pedras e/ou matacões podem ser aproveitados para camadas de “rachão” e/ou para proteção de saias de aterros e taludes compactados.

Outro aspecto favorável para reaproveitamento dos materiais escavados nas ombreiras se refere à condição “seca” do material natural, o que facilita sua trabalhabilidade. Além disto, seu possível reaproveitamento minimiza a necessidade de áreas de bota-fora e o impacto ambiental decorrente.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

Por outro lado, entre as limitações quanto ao reaproveitamento destes materiais citam-se suas características predominantemente granulares, o que implica em aterros semi-permeáveis, bem como ocorrência de pedras e matacões que provavelmente exigirão segregação para posterior utilização em revestimentos. Apesar disto, acredita-se que tais limitações não sejam impeditivas para o reuso destes materiais escavados, visto que nas proximidades não são encontrados solos argilosos, sendo comumente verificados solos de textura granular ou litólicos.

5.2.3 Escavações para Desvio do Arroio

Além das escavações conforme as etapas construtivas, onde o arroio Taquarembó é desviado para as adufas, deverão ser executadas escavações a jusante da barragem, na ombreira direita, para o alargamento da calha do arroio, e posterior construção da ensecadeira de 1ª Fase.

5.2.4 Escavações na Calha do Arroio e no Canal de Restituição

As escavações deverão ser executadas em material aluvionar (siltes arenosos saturados) de 1ª categoria, na camada superficial, e abaixo em riolito alterado, muito fragmentado de 2ª categoria. Estas escavações deverão aprofundar-se até ser verificada a rocha tipo tufobrecha vulcânica de composição riolítica, de melhor qualidade, caracterizando um material de 3ª categoria.

Quanto aos materiais a serem escavados, superficialmente nas margens, tipicamente aluviões saturados, dificilmente poderão ser reaproveitados, visto sua composição errática (mistura de areias, argilas e siltes), a presença de matéria orgânica e a sua condição saturada. Deste modo, estes solos deverão ser descartados para reaproveitamentos, sendo indicado lançá-los em áreas de bota-fora.

5.2.5 Recomendações Executivas

É requisito que, após a limpeza da superfície rochosa do fundo das escavações, seja executada inspeção detalhada e vistoria geológico-geotécnica para liberação das fundações e/ou orientação complementar.

Os materiais rochosos procedentes das escavações obrigatórias da fundação da barragem, por sua vez, deverão ser reaproveitados, sempre que possível, evitando seu descarte. Assim, recomenda-se que a Fiscalização defina áreas de estoque destes materiais, principalmente aqueles oriundos das escavações obrigatórias da margem esquerda, de forma que possam ser reutilizados em aterros e/ou revestimentos de ensecadeiras, estradas e outros destinos, à critério da supervisão de obras.

As seções transversais das escavações estão apresentadas nos Desenhos BAR-TER-02 a BAR-TER-14, com recomendação de utilização de pré-fissuramento, especialmente nas escavações na área do bloco hidráulico.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

5.3 Ensecadeiras

Inicialmente, deverá ser realizado o alargamento da calha do arroio na margem direita, visto que a ensecadeira de 1ª Fase sobrepõe-se a calha do arroio e diminui a sua largura, dificultando a passagem do fluxo d'água. Em seguida, deverá ser executada a limpeza da fundação para a construção da pré-ensecadeira na margem esquerda até a cota 133,0 m, possibilitando a escavação da estrutura de desvio (cota 127,0 m).

O alteamento da pré-ensecadeira até a cota 138,0 m conclui a ensecadeira de 1ª Fase e a construção das estruturas de desvio do arroio Taquarembó. Quando estas estruturas estiverem prontas o arroio será desviado para as adufas e a obra poderá ser finalizada na margem direita com a execução das ensecadeiras de 2ª Fase (montante e jusante).

5.3.1 Ensecadeira da 1ª Fase de Desvio

A ensecadeira da 1ª Fase estará localizada na margem/calha esquerda do arroio, com a finalidade de ensecar e proteger das cheias a área onde estará sendo construída a estrutura de desvio do rio (adufas) e o maciço da ombreira esquerda.

No Desenho BAR-HID-08 indica-se a seção tipo 1 e a planta baixa da ensecadeira de 1ª Fase, e no Desenho BAR-HID-12, as seções tipo 2 e 3.

5.3.1.1 *Perfil de Fundação*

Ao longo do traçado da ensecadeira de 1ª Fase a fundação estará constituída por, pelo menos, dois perfis típicos:

- Perfil da margem (à montante e à jusante): fundação em rocha aflorante e/ou com delgada camada aluvionar sobre rocha alterada;
- Perfil ao longo da margem na calha do arroio: fundação em rocha na calha menor do arroio e/ou fundação em camada de solo aluvionar sobre rocha alterada na margem.

5.3.1.2 *Seções Tipo das Ensecadeiras*

A ensecadeira de 1ª Fase foi concebida a partir das seguintes condicionantes:

- Cota de coroamento na elevação 138,0 m;
- Largura da crista de 8,0 m adotada devido à necessidade de utilização de solos areno-argilosos (saprolíticos) procedentes das escavações obrigatórias e/ou jazidas, que por serem semi-permeáveis exigem uma seção transversal mais larga para confinar eventual linha freática interna. Além disto, sobre a ensecadeira haverá trânsito de caminhões, o que também implica na adoção de uma largura mínima que garanta a circulação de veículos com segurança;
- Taludes externos com inclinação de 1:1,5 (V:H), sendo o talude de montante revestido com blocos de rocha ("rip rap") com a finalidade de evitar a erosão superficial pela passagem de cheias e o arrancamento de partículas de solo devido às chuvas. Abaixo da cota de elevação 131,0 m, para maior estabilidade, o talude de montante deverá ter uma inclinação de 1:2 (V:H);

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

- Na interface do enrocamento e o aterro compactado com solo saprolítico deverá ser executada uma camada de transição granulométrica;
- Na crista da ensecadeira deverá ser executado revestimento primário com cascalho.

Assim, foram concebidas 3 seções tipo, as quais estão apresentadas abaixo, da Figura 5.1: a Figura 5.3.

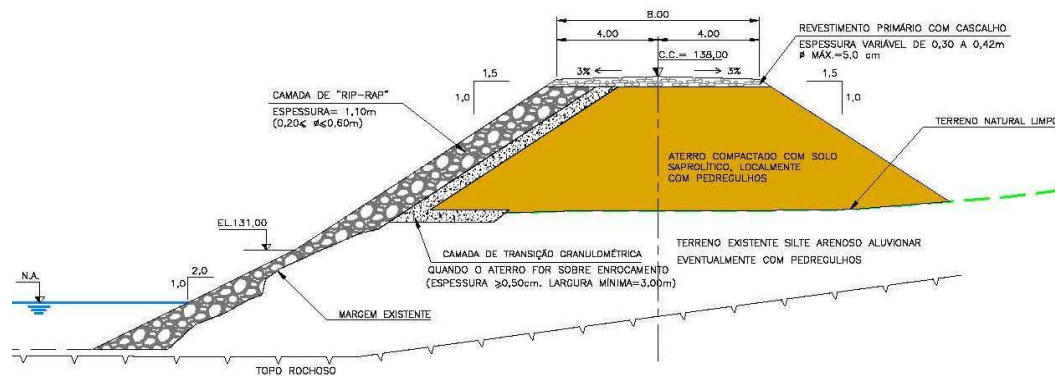


Figura 5.1: Seção Tipo 1 ao longo da margem do arroio

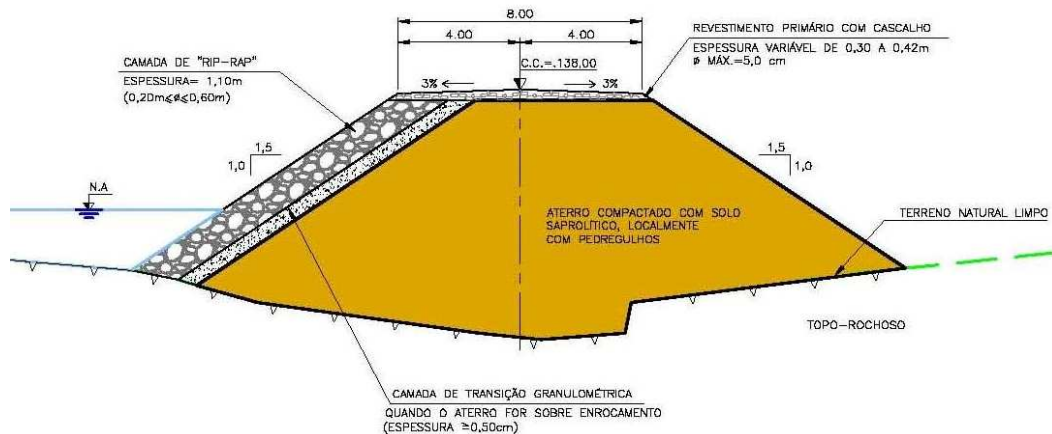


Figura 5.2: Seção Tipo 2 fora do leito do arroio

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

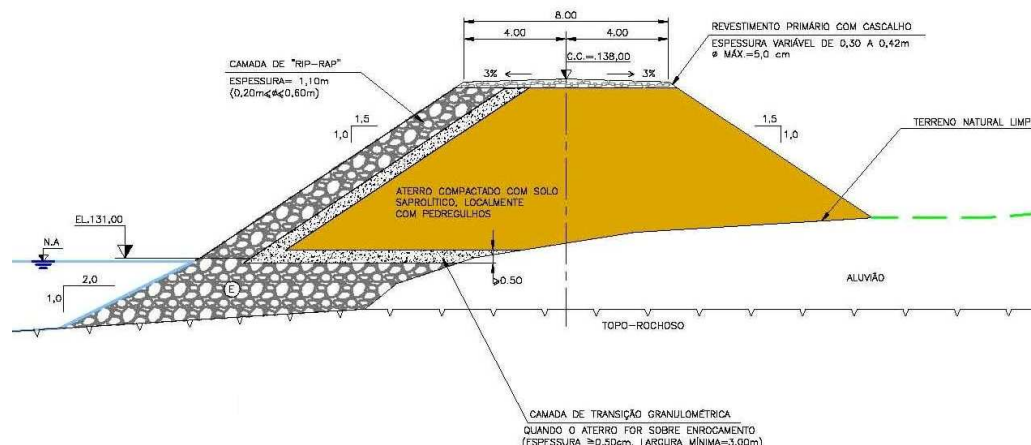


Figura 5.3: Seção Tipo 3 onde a ensecadeira sobrepõe, em sua maioria, no leito do arroio

5.3.1.3 Materiais a Utilizar

O aterro compactado da ensecadeira de 1ª Fase será construído com solo saprolítico (areno-argilosos), tendo localmente pedregulhos, proveniente das escavações obrigatórias da barragem e/ou de jazidas. Os cascalhos das escavações obrigatórias também poderão ser utilizados no revestimento primário da crista da barragem.

O talude de montante da ensecadeira de 1ª Fase foi concebido com enrocamento grosseiro (rip rap) e camada de transição granulométrica, sendo estes obtidos da pedra JR-01. Havendo excedente de blocos de rocha das escavações obrigatórias, estas deverão ser utilizadas nos enrocamentos das ensecadeiras, a critério da Fiscalização.

5.3.1.4 Recomendações para Execução

Precedendo a execução da ensecadeira de 1ª Fase nos locais onde ocorrem interfaces com a estrutura de desvio do arroio e canais de aproximação e de restituição, deverão ser realizadas as escavações obrigatórias até a cota de fundação necessária.

Nos locais onde a ensecadeira avança sobre a calha do arroio deverão ser lançados primeiramente os blocos de rocha (rip rap) da base do aterro (talude de montante), e em seguida, a camada de transição granulométrica e a de aterro com solo saprolítico, conforme seção tipo 3.

5.3.2 Ensecadeiras da 2ª Fase de Desvio

As ensecadeiras da 2ª Fase, uma de montante e outra de jusante, estarão localizadas principalmente na calha do arroio e na margem/ombreira direita, sendo estas executadas somente após as adufas e canais de aproximação e de restituição estarem concluídos. No Desenho BAR-HID-09 apresenta-se a planta baixa da ensecadeira de 2ª Fase e no Desenho BAR-HID-22 estão apresentadas as 4 seções tipo.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

5.3.2.1 Perfil de Fundação

Ao longo do traçado da ensecadeira de 2ª Fase a fundação estará constituída por, pelo menos, três perfis típicos:

- Perfil da margem (à montante e à jusante): fundação em rocha aflorante e/ou com delgada camada aluvionar sobre rocha alterada;
- perfil ao longo da margem na calha do arroio: fundação em rocha na calha menor do arroio e/ou fundação em camada de solo aluvionar sobre rocha alterada na margem;
- perfil na ombreira direita: fundação em camada de solo residual sobre rocha alterada.

5.3.2.2 Seções Tipo das Ensecadeiras da 2ª Fase

As ensecadeiras de 2ª Fase foram projetadas com as seguintes condicionantes:

- Cota de coroamento na elevação 139,90 m para a ensecadeira de montante, e para a de jusante, 135,50 m;
- Largura da crista de 8,0 m adotada devido à necessidade de utilização de solos areno-argilosos (saprolíticos) procedentes das escavações obrigatórias e/ou jazidas, que por serem semi-permeáveis exigem uma seção transversal mais larga para confinar eventual linha freática interna. Além disto, sobre a ensecadeira haverá trânsito de caminhões, o que também implica na adoção de uma largura mínima que garanta a circulação de veículos com segurança;
- Taludes externos com inclinação de 1:1,5 (V:H), sendo o talude de montante revestido com blocos de rocha ("rip rap") com a finalidade de evitar a erosão superficial pela passagem de cheias e o arrancamento de partículas de solo devido às chuvas. Abaixo da cota de elevação 132,90 m, para maior estabilidade, o talude de montante deverá ter uma inclinação de 1:2 (V:H);
- Na interface do enrocamento e o aterro compactado com solo saprolítico deverá ser executada uma camada de transição granulométrica;
- Na crista da ensecadeira deverá ser executado revestimento primário com cascalho.

Após estas considerações foram concebidas 3 seções tipo, as quais estão apresentadas abaixo, da Figura 5.4 a Figura 5.7.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

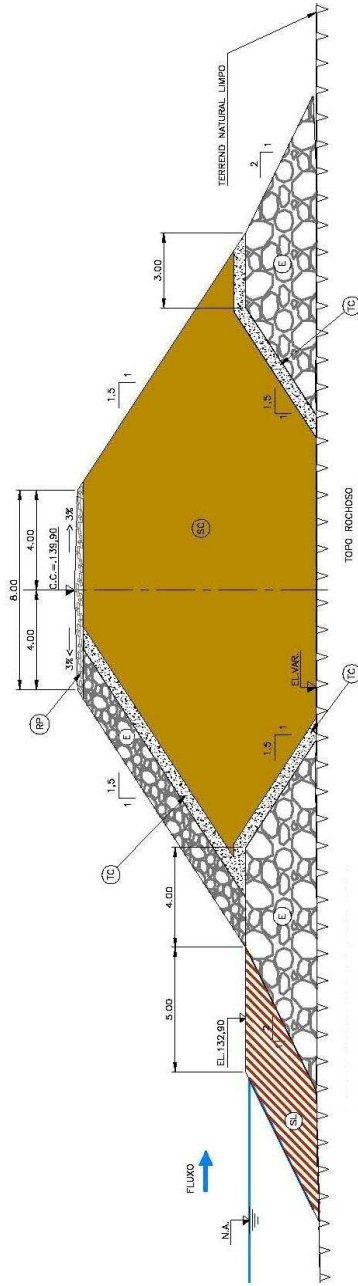


Figura 5.4: Ensecadeira de montante 2ª Fase - seção tipo 1- aterro dentro do arroio (trecho 2)

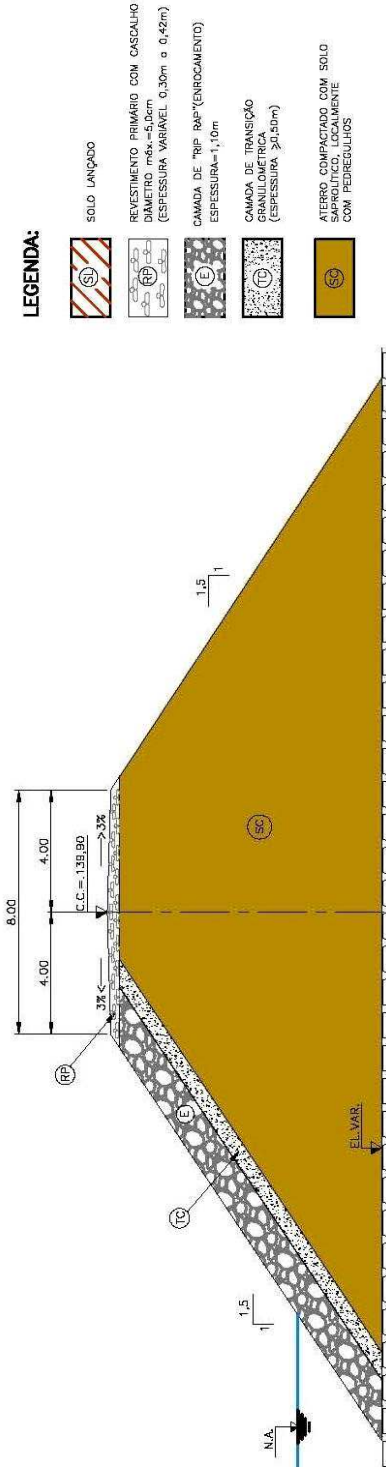


Figura 5.5: Ensecadeira de montante 2ª Fase - seção tipo 2 – ao longo da margem (trechos 1 e 3)

LEGENDA:

- SOLO LANÇADO
- REVESTIMENTO PRIMÁRIO COM CASCALHO
DIÂMETRO mda = 0,30m a 0,42m
(ESPESSURA VARIÁVEL 0,30m a 0,42m)
- CAMADA DE "RIP RAP" (ENROCAMENTO)
ESPESSURA = 1,0m
- CAMADA DE TRANSIÇÃO GRANULOMÉTRICA
(ESPESSURA >= 0,30m)
- ATERRO COMPACTADO COM SOLO
ENROCAMENTO ALTERNAMENTE COM PEDREGULHOS

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

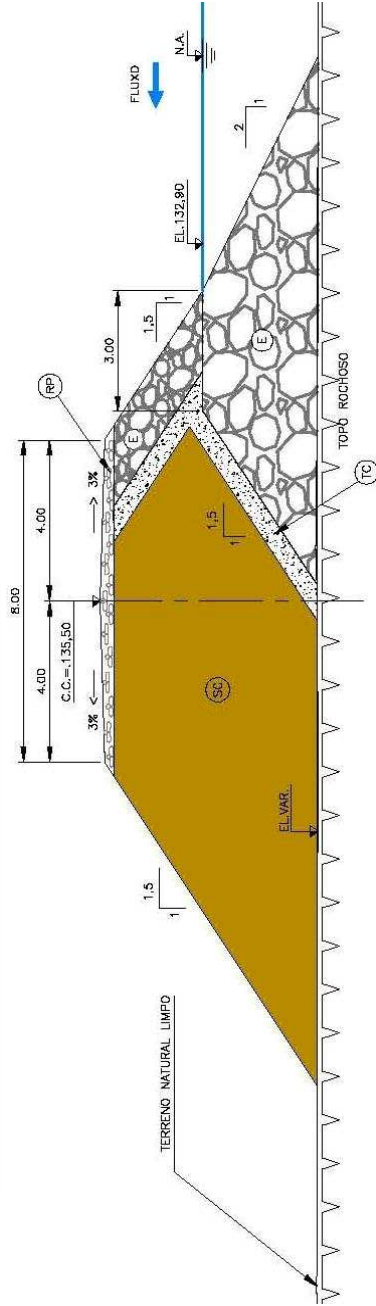


Figura 5.6: Ensecadeira de jusante 2ª Fase - seção tipo 3 – aterro dentro do arroio (trecho 2)

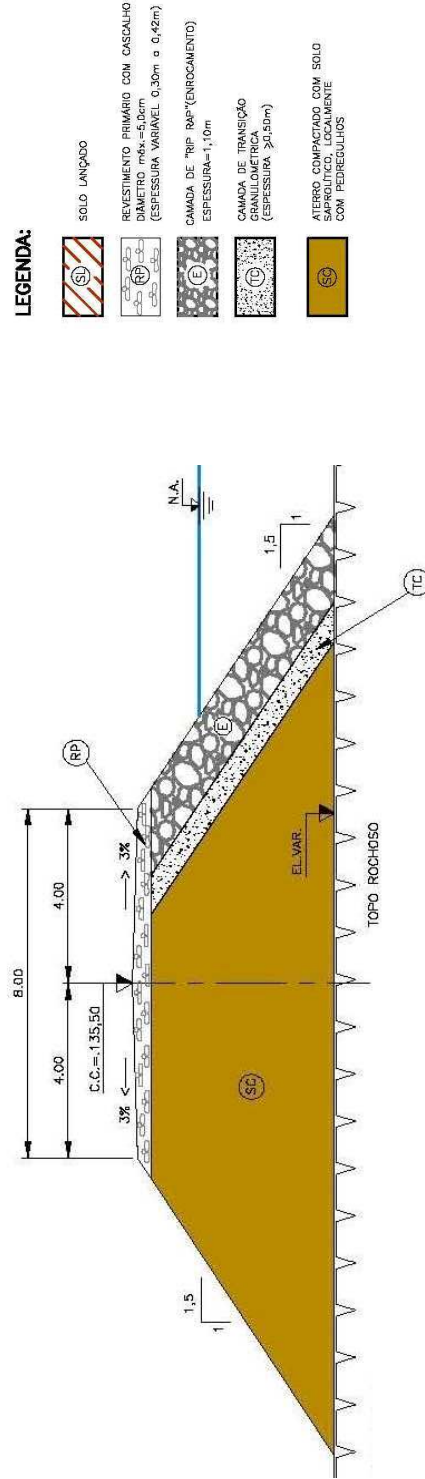


Figura 5.7: Ensecadeira de jusante 2ª Fase - seção tipo 4 – ao longo da margem (trechos 1 e 3)

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

5.3.2.3 Materiais a Utilizar

Em princípio, os materiais a utilizar serão do mesmo tipo e natureza daqueles especificados para as ensecadeiras de 1ª Fase.

O aterro compactado das ensecadeiras de 2ª Fase será construído com solo saprolítico (areno-argilosos), tendo localmente pedregulhos, proveniente das escavações obrigatórias da barragem e/ou de jazidas. Os cascalhos das escavações obrigatórias também poderão ser utilizados no revestimento primário da crista da barragem.

O talude de montante das ensecadeiras de 2ª Fase foi concebido com enrocamento grosseiro (rip rap) e camada de transição granulométrica, sendo estes obtidos da pedra JR-01. Havendo excedente de blocos de rocha das escavações obrigatórias, estas deverão ser utilizadas nos enrocamentos das ensecadeiras, a critério da Fiscalização.

5.3.2.4 Recomendações para Execução

Nos locais onde a ensecadeira de montante se encontra na calha do arroio deverão ser lançados primeiramente os blocos de rocha (rip rap) na base do aterro. Após, a montante destes blocos (talude de montante), deverá ser lançado solo, o qual colmatará a camada de enrocamento na base do aterro, auxiliando na sua impermeabilização (ver Figura 5.4). Em seguida, deverá ser executada a camada de transição granulométrica e a de aterro com solo saprolítico.

O revestimento do talude de montante será de enrocamento grosseiro (rip rap) com blocos de diâmetro variando de 0,20 m a 0,60 m e com 1,10 m de espessura mínima, além de uma camada de, no mínimo, 0,50 m de transição granulométrica. Quanto a fundação do aterro for sobre enrocamento a largura mínima nesta interface será de 3,0m.

O revestimento primário com cascalho da crista das ensecadeiras de 2ª Fase deverá ter espessura variável de 0,30 m a 0,42 m e diâmetro máximo de 5,0 cm. Esta camada deverá ter uma declividade de 3% para permitir o escoamento da água superficial.

5.4 Tratamento de Fundações da Barragem

A seguir estão descritos os principais condicionantes quanto ao tratamento das fundações a serem executadas na área da barragem.

5.4.1 Análise da Estanqueidade das Fundações

Pelos resultados das investigações geológico-geotécnicas, em especial dos ensaios de perda d'água sob pressão executados nas sondagens, verifica-se que ao longo da fundação da barragem ocorre substrato rochoso com variações da condutividade hidráulica, em faixa de valores correspondentes à fundação semi-permeável (10^{-4} a 10^{-5} cm/s), sendo que trechos mais permeáveis deverão ser removidos quando das escavações.

Esse cenário confirma a necessidade de vedação complementar das fundações da barragem, conforme já previsto desde o projeto básico, através da execução de uma cortina de injeções posicionada ao longo de todo o pé de montante (plinto).

O tratamento das fundações do substrato rochoso a ser executado visa interceptar e minimizar eventuais caminhos preferenciais de percolação d'água subterrânea na direção de

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
 CANAIS

jusante, reduzindo as vazões e fluxos d'água pelas fundações. Desta forma, evita-se o risco de eventual erosão de materiais de alteração e/ou de preenchimento de fraturas que possam existir na fundação da barragem, interceptando-se trechos mais permeáveis das rochas de riolito, tufo/brecha, lópili/tufo e lapilito de composição riolítica.

5.4.2 Projeto das Injeções na Fundação

O tratamento das fundações do substrato rochoso com injeções de calda de cimento reduz o fluxo d'água pelas fundações, evitando-se a erosão de materiais de alteração e/ou de preenchimento de fraturas que possam existir na fundação da barragem.

A literatura técnica de barragens recomenda a execução de tratamentos de fundação, tais como a injeção de calda de cimento, no caso em que a perda d'água determinada nos ensaios de perda d'água seja superior a 2,0 l/min/m/atm, ou seja, $k > 10^{-3}$ cm/s.

5.4.2.1 Cortina de Injeção

Um plano de injeções de calda de cimento foi concebido conforme apresentado no Desenho BAR-GEO-14, em planta baixa e perfil. O plano considera no mínimo a execução de Furos Primários (1ª ordem), espaçados entre si de 6,00 m ao longo do plinto, sendo numerados como Furos 1P a 64P e profundidades de 7,0 a 24,0 m, conforme indicado no respectivo desenho.

Salienta-se que o projeto básico previa um espaçamento de 12,0 m entre os furos primários, o que foi considerado insuficiente após os estudos geotécnicos complementares do projeto executivo (novas sondagens e ensaios). A disposição, o espaçamento e a necessidade da execução de furos secundários e/ou terciários estão condicionados aos resultados dos consumos observados os furos primários, conforme especificação técnica.

Casagrande¹, (1961) considerou a importância de que fossem melhor investigados os resultados de uma única linha de injeções, os quais poderiam não ser confiáveis, principalmente no caso de barragens muito altas. Atualmente, em grandes barragens (com alturas superiores a 50 m), vêm sendo executados tratamentos com cortinas profundas compostas de mais de uma linha de furos. Ressalta-se que, no caso da barragem do Taquarembó, com altura inferior a 35 m, e pelas condições da fundação, em princípio, uma única linha de impermeabilização foi considerada como adequada, desde que bem posicionada e com rígido controle de execução.

Conforme a necessidade, em função da avaliação dos resultados dos Ensaios de Perda d'água e dos consumos de calda das injeções primárias, devem ser executados Furos Secundários (2ª ordem), intermediários, e Furos Terciários (3ª ordem), conforme a sistemática estabelecida nas Especificações Técnicas.

Os Furos Primários deverão estar locados em linha paralela e 3,75 m à montante do eixo do barramento, sendo obrigatória nestes furos a execução de ensaios prévios de perda d'água sob pressão (EPA) a cada 3,00 m de profundidade, antes da injeção de cada furo, conforme previsto nas especificações.

¹ Casagrande, A. Control of Seepage through Foundations and Abutments of Dams, Géotechnique, Vol. 11, First Rankine Lecture, p.2, 1961.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

A execução de furos para injeção ao longo do talude das ombreiras deverá ser avaliada e definida em campo, conforme os resultados dos furos primários mais próximos (patamares acima e abaixo). A Fiscalização deverá emitir parecer geológico-geotécnico confirmando ou não a necessidade destes furos adicionais, os quais deverão ser codificados pelo número do último furo do patamar inferior acrescido de letras seqüenciais iniciando pela letra "A". Além disto, estes furos deverão ter inclinação mínima de 30° em relação à vertical, na direção da ombreira direita para a ombreira esquerda.

Os resultados das injeções (consumo de cimento, em kg por metro), devem ser analisados imediatamente após sua execução, para reprogramação do tratamento ou para a liberação das fundações. Em princípio, considera-se satisfatória a fundação "tratada" que apresentar um consumo nos furos de injeção inferior a 25 kg/m em todo o perfil do furo injetado, sendo que furos complementares (2ª, 3ª ou 4ª ordem) deverão ser executados, enquanto este limite não for atingido.

Quanto a aceitabilidade dos consumos foi adotado como critério às recomendações do Dr. Paulo Cruz² (1996) que, para situações similares, recomenda limites um pouco mais rigorosos do que os previstos inicialmente pelas especificações do projeto básico. Recomenda-se que sejam avaliados constantemente os resultados dos ensaios de perda d'água e dos consumos nas injeções. O Quadro 5.2 abaixo, proposto por DEERE (1977)³ mostra um critério que serve de orientação geral para a análise das tomadas de calda (absorção de cimento). Destaca-se que consumos entre 12,5 e 25 kg/m correspondem a perda d'água da ordem de $0,5 \times 10^{-5}$ cm/s.

Quadro 5.2: Orientação geral para análise das absorções de cimento (caldas)

Designação da Absorção	Peso de Cimento Absorvido por metro de furo (kg/m)
Muito baixa	0 a 12,50
Baixa	12,50 a 25,0
Moderadamente baixa	25,0 a 50,0
Moderada	50 a 100
Moderadamente alta	100 a 200
Alta	200 a 400
Muito alta	Mais de 400

Na fase final das operações de injeção deverão ser executados furos complementares de diâmetro NX com recuperação de testemunhos e ensaios de perda d'água para verificação da eficiência e comportamento final das injeções, conforme descrito nas Especificações Técnicas.

² Cruz, Paulo Teixeira da. 100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto. São Paulo, Oficina de Textos, 1996.

³ DEERE, D.U. (1977), Dams on Rock Foundations: some design questions. In: Rock Engineering for Foundation & Slopes, 1976, Boulder, Colorado. Anais. New York, ASCE, v2, p. 55-86.

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

5.4.2.2 Injeções de Consolidação/Colagem

As injeções de colagem e/ou consolidação deverão ser executadas a baixa pressão com profundidades de 4,0 a 6m em áreas específicas da superfície de fundação que se apresentarem com indícios de blocos soltos e/ou abalos decorrentes dos desmontes de rocha. A representação da malha de furos indicada no Desenho BAR-GEO-14 é genérica, sendo que a área a ser tratada deverá ser delimitada pela Fiscalização após a limpeza das escavações.

5.4.2.3 Injeções nas Ombreiras

Considerando que o encontro lateral do maciço da barragem com o terreno natural deverá ser em solo saprolítico e/ou camadas de alteração de rocha, foi prevista a necessidade de tratamento desta interface, através de injeções de calda de cimento. Este tratamento deverá estender-se também no terreno natural além do limite do maciço/escavações obrigatórias, para minimizar a percolação da água subterrânea através das ombreiras, conforme projeto específico. Neste tratamento, recomenda-se a execução de injeções de calda de cimento, totalizando 30 furos em cada ombreira, sendo que 6 são complementares, caso haja necessidade. Estes furos foram codificados conforme a ombreira em que se encontram, sendo OE para a esquerda e OD para a direita e estão apresentados no Desenho BAR-GEO-15.

A localização, a profundidade e a nomenclatura dos furos de injeção das ombreiras encontram-se apresentadas no Quadro 5.3 e da Figura 5.8 a Figura 5.11, sendo que estes furos iniciais deverão estar espaçados conforme o croqui apresentado na Figura 5.12.

Quadro 5.3: Locação das injeções nas ombreiras

Furo	Estaca Aproximada	Profundidade (m)
01-OD	0 – 2,0 m	21,0
02-OD	0 – 5,0 m	
03-OD	0 – 8,0 m	
04-OD	0 – 11,0 m	
05-OD	0 – 14,0 m	
06-OD	0 – 17,0 m	
07-OD	0 – 20,0 m	
08-OD	0 – 23,0 m	
09-OD	0 – 26,0 m	
10-OD/20-OD	0 – 0,50 m	15,0
11-OD/21-OD	0 – 3,50 m	
12-OD/22-OD	0 – 6,50 m	
13-OD/23-OD	0 – 9,50 m	
14-OD/24-OD	0 – 12,50 m	
15-OD	0 – 15,50 m	

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Furo	Estaca Aproximada	Profundidade (m)
16-OD	0 – 18,50 m	
17-OD	0 – 21,50 m	
18-OD	0 – 24,50 m	
19-OD	0 – 27,50 m	
01-OE	19+ 3,50	21,0
02-OE	19 + 6,50	
03-OE	19 + 9,50	
04-OE	19 + 12,50	
05-OE	19 + 15,50	
06-OE	19 + 18,50	
07-OE	20 + 1,50	
08-OE	20 + 4,50	
09-OE	20 + 7,50	
10-OE/20-OE	19 + 2,0	15,0
11-OE/21-OE	19 + 5,0	
12-OE/22-OE	19 + 8,0	
13-OE/23-OE	19 + 11,0	
14-OE/24-OE	19 + 14,0	
15-OE	19 + 17,0	
16-OE	20 + 00	
17-OE	20 + 3,0	
18-OE	20 + 6,0	
19-OE	20 + 9,0	

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

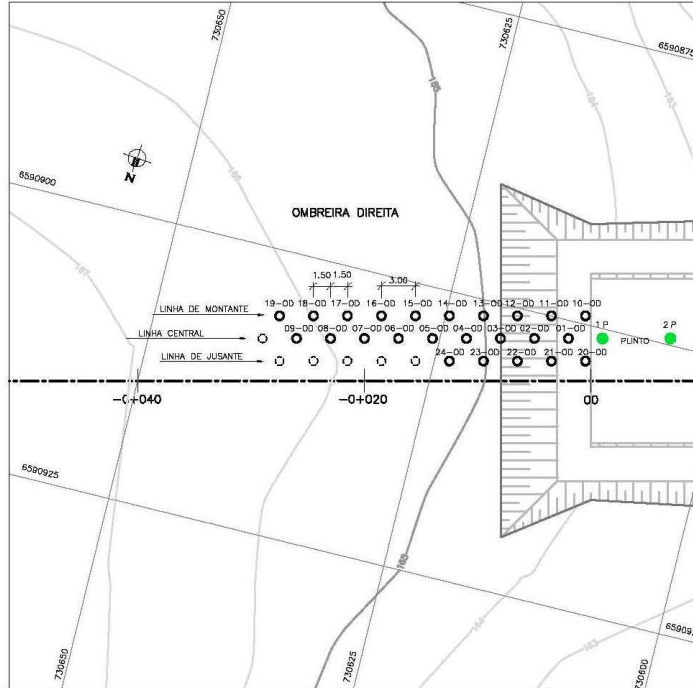


Figura 5.8: Planta baixa com a localização das injeções na ombreira direita

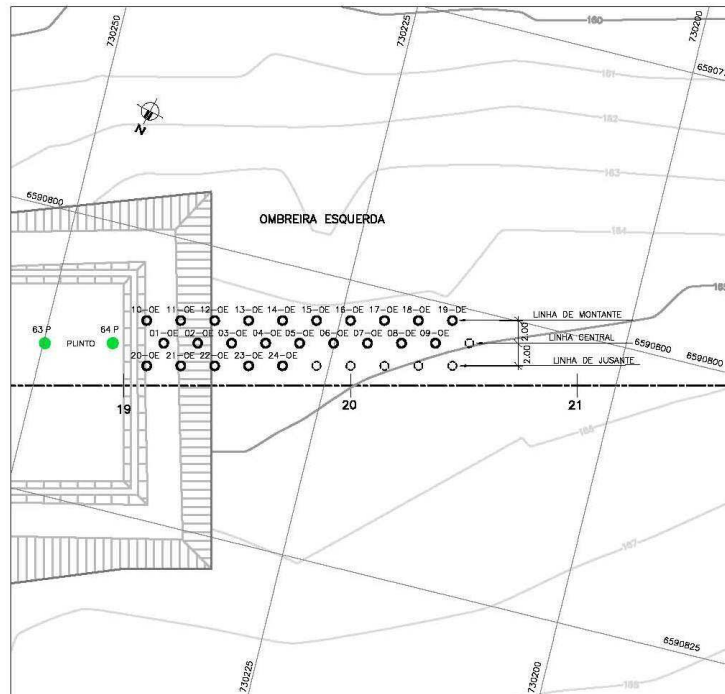


Figura 5.9: Planta baixa com a localização das injeções na ombreira esquerda

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

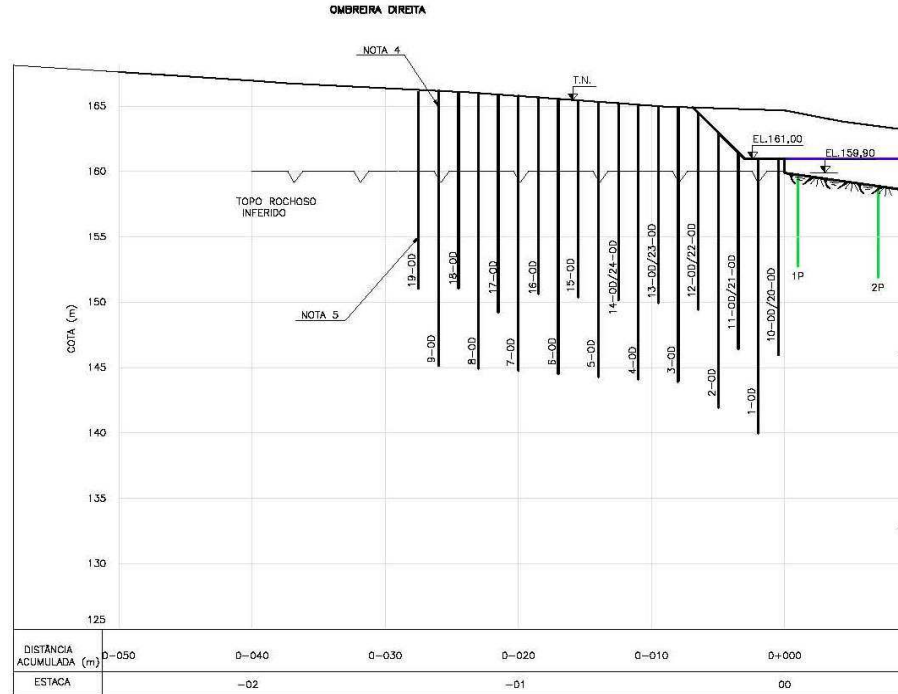


Figura 5.10: Perfil longitudinal das injeções na ombreira direita

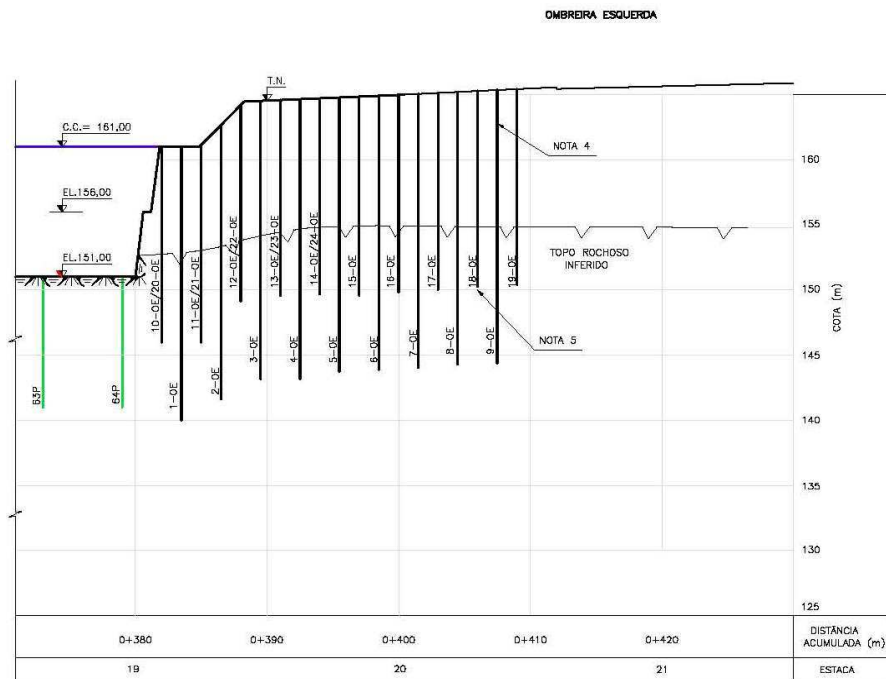


Figura 5.11: Perfil longitudinal das injeções na ombreira esquerda

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

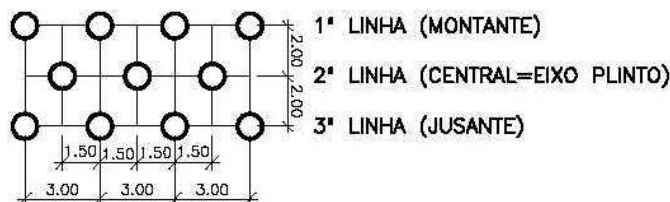


Figura 5.12: Croqui do espaçamento dos furos de injeção das ombreiras

A profundidade mínima das injeções da camada rochosa subjacente a camada de solo/alteração deverá ser de 10,0 m em rocha, sendo estes verticais. A disposição, espaçamento e necessidade da execução dos furos estão condicionados aos resultados dos consumos observados.

A execução do tratamento com injeções em solo (anterior ao topo rochoso) deverá ser previamente ajustada em testes iniciais, experimentais, devendo ser evitado fraturamento hidráulico. As injeções deverão ser à baixa pressão e/ou por gravidade, conforme orientação da Fiscalização. Já no trecho em rocha esta deverá ser conforme a metodologia adotada para a cortina de injeção do plinto da barragem.

5.4.2.4 Reaterros e Impermeabilização à Montante

O objetivo da execução de um reaterro parcial com saibro argiloso entre o paramento de montante da barragem e o talude de escavação na margem é de cobrir com solo as cavas remanescentes das escavações obrigatórias das ombreiras dificultando, desta forma, a percolação d'água desde montante. Ou seja, deverá ser executado um "selo" com material mais argiloso possível, conforme desenhos do projeto. Além de diminuir as pressões hidrostáticas que atuarão sobre o terreno das ombreiras, este reaterro também eliminará problemas futuros de estabilidade de taludes rochosos escavados (queda de blocos), pois a área será "obturada".

No topo do reaterro e para a proteção deste, deverá ser executada uma camada de transição granulométrica de 0,30 m de espessura abaixo da camada de 0,60 m de enrocamento com diâmetro mínimo de 0,20 m, sendo que estes materiais serão provenientes de jazida. A inclinação dos taludes é de 1:2 (V:H) com uma berma de 5,0 m de largura presente na cota 158,0 m. No Desenho BAR-TER-18 estão apresentadas a planta baixa e o corte da seção na ombreira esquerda.

5.5 Projeto de Drenagem das Fundações

A drenagem das fundações será executada com furos de drenagem posicionados no interior da galeria de inspeção.

5.5.1 Estimativa das Vazões a Serem Drenadas

Para a estimativa da vazão da galeria consideram-se as seguintes condicionantes:

- Diferença de nível entre a cota máxima do reservatório e o nível da galeria,

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

- Distância entre a cortina de drenagem e o paramento de montante da barragem;
- Condutividade hidráulica média da fundação (k) de 10^{-5} cm/s,
- Profundidade média estimada da cortina de drenagem de 20,0 m;
- Extensão da galeria de 220 m, aproximadamente.

A vazão total foi calculada conforme a fórmula de Darcy apresentada a seguir:

$$Q = k \times i \times A,$$

Onde:

k = condutividade hidráulica média da fundação da barragem, em m/s;

i = gradiente hidráulico;

A = área de influência da percolação d'água na cortina de drenagem.

A vazão total calculada resultou em 2,96 L/s pela fundação da barragem, considerando-se as premissas comentadas acima. Ou seja, 0,0135L/s/m ao qual corresponde uma estimativa bastante inferior aos limites usualmente aceitos para fundação de barragem em condições similares (máxima de 1L/s/m).

5.5.2 Esgotamento das Águas de Drenagem da Galeria

O sistema de drenagem das fundações foi concebido basicamente através de furos verticais de drenagem, diâmetro 3" (75 mm), com espaçamento de 5,0 m entre furos, exceto em alguns locais (ver Desenho BAR-DRE-01) principalmente na região da galeria de desvio (ver Desenhos BAR-FOR-02, BAR-FOR-03, BAR-FOR-05 e BAR-FOR-10), a serem executados no interior das galerias de inspeção e drenagem no maciço da barragem. Este sistema será sempre mais eficiente no tocante às reduções de subpressões hidrostáticas do que a existência de uma cortina de injeções à montante.

Para a avaliação do fluxo d'água subterrâneo pela fundação da barragem foram utilizados os resultados dos ensaios de perda d'água executados nas sondagens geotécnicas. Observou-se que o nível d'água do freático atual é controlado pelo fraturamento do maciço rochoso presente, sendo encontrado de forma bastante variável, conforme o local e a perfuração executada.

O alívio da subpressão hidrostática obtido pela captação d'água dos furos verticais de drenagem é direcionado à canaleta de drenagem na base da galeria com uma largura de 0,30 m, onde esta água será coletada e bombeada em um poço situado nas proximidades da estaca 0+120. Estes furos de drenagem vertical estão projetados com profundidades que variam de 23,0 m a 27,0 m na região do vertedouro e com 18,0 m, nos muros laterais. O detalhamento destes furos de drenagem da fundação a serem realizados na galeria de inspeção estão apresentados no Desenho BAR-DRE-01 e um resumo está apresentado no Quadro 5.4.



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Quadro 5.4: Resumo dos furos de drenagem da fundação a serem executados na galeria de inspeção

Furo	Estaca*	Profundidade (m)	Cota do Piso (m)
D-1	4 + 2,50	18,0	144,00
D-2	4 + 7,50		142,80
D-3	4 + 12,50		141,30
D-4	4 + 16,20		139,50
D-5	5 + 0,00		139,05
D-6	5 + 2,50		137,85
D-7	5 + 7,50		135,03
D-8	5 + 12,50		132,75
D-9	5 + 17,50	23,0	130,50
D-10	6 + 2,50		
D-11	6 + 7,50		
D-12	6 + 12,50		
D-13	6 + 17,50		
D-14	7 + 2,50		
D-15	7 + 7,50		
D-16	7 + 12,50		
D-17	7 + 17,50		
D-18	8 + 2,50		
D-19	8 + 7,50		
D-20	8 + 12,50		
D-21	8 + 17,50		
D-22	9 + 2,50		
D-23	9 + 7,50		
D-24	9 + 12,50		
D-25	9 + 17,50		
D-26	10 + 2,50		
D-27	10 + 7,50		
D-28	10 + 12,50		
D-29	10 + 17,50		
D-30	11 + 2,50		
D-31	11 + 7,50		
D-32	11 + 12,50		
D-33	11 + 17,50		
D-34	12 + 2,50	25,0	132,60
D-35	12 + 6,75	27,0	134,40

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Furo	Estaca*	Profundidade (m)	Cota do Piso (m)	
D-36	12 + 11,15	19,0		
D-37	12 + 15,90			
D-38	13 + 0,65			
D-39	13 + 3,60			
D-40	13 + 6,40			
D-41	13 + 11,15			
D-42	13 + 15,90			
D-43	13 + 18,85			135,75
D-44	14 + 3,25			138,00
D-45	14 + 7,85			139,80
D-46	14 + 12,85			
D-47	14 + 16,25			

*Furo localizado a 2,0 m a jusante do eixo da barragem e a 0,50 m da parede junto a canaleta, no interior da galeria de drenagem e inspeção.

A Figura 5.13 ilustra um perfil típico e a instalação da extremidade superior dos furos de drenagem vertical da fundação da barragem. A situação inicial representa a execução do furo no interior da galeria e colocação de tampão provisório na boca do furo, para evitar a queda de resíduos e/ou sujeira no interior do furo, que ocasionem o seu entupimento. A situação final contempla a retirada do tampão e colocação de Joelho 90° para direcionar as águas percoladas pelo furo na fundação e seu direcionamento para a canaleta de drenagem da galeria. Assim, com facilidade, se poderá medir a vazão unitária de cada dreno, quando do enchimento do reservatório e durante a vida útil da barragem.

O detalhe da boca e/ou parte superior do furo poderá ser adaptado em obra, mediante aprovação da Fiscalização, caso o piso da galeria tenha sido executado sem a reentrância indicada (ver detalhes do Desenho BAR-DRE-01). Nesta situação, o furo poderá ser executado no nível do piso da galeria, colocando-se o tampão provisório e, posteriormente, a fixação do Joelho 90°.

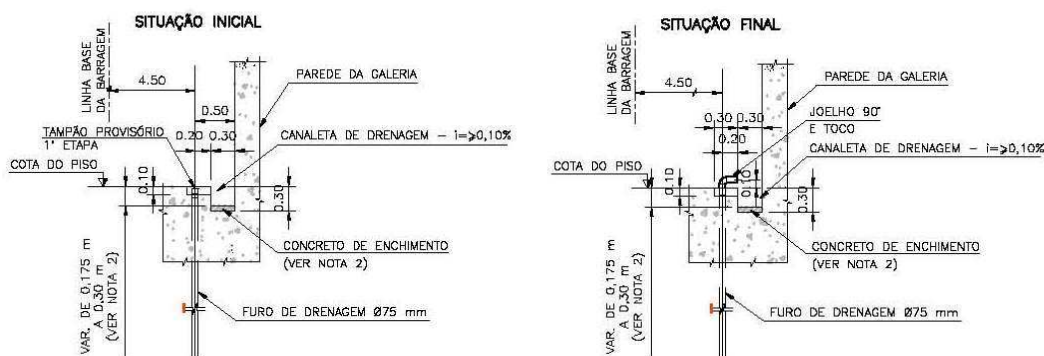


Figura 5.13: Instalação da extremidade superior dos furos de drenagem da fundação

A execução dos furos merecerá cuidados especiais, evitando ao máximo o desgaste excessivo das paredes internas do furo, seja pelo próprio equipamento, seja pela água de

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

circulação. O equipamento utilizado para estas perfurações deverá possuir firmeza ou ser fixado de forma suficiente para manter a direção estabelecida e a linearidade satisfatória para atingir os objetivos desejados. A entrada do equipamento rotopercussivo na galeria de drenagem deverá ser realizada de forma cuidadosa, para não danificar outros dispositivos e/ou instrumentos eventualmente existentes no interior desta.

Além dos furos de drenagem da fundação deverão ser executados os do maciço, os quais estão apresentados no Desenho BAR-DRE-02 e no Quadro 5.5, onde estão alguns dados importantes quando da sua instalação. Estes furos de drenagem de diâmetro de 75 mm estão espaçados de 5,0 m, iniciando ao final do CCR, próximo a crista da barragem ou do vertedouro, até o topo da galeria de inspeção e drenagem. Antes do início da concretagem do CCV, estes furos deverão ser tamponados para evitar seu entupimento.

Quadro 5.5: Resumo dos furos de drenagem do maciço a serem executados até o topo da galeria de inspeção

Furo	Estaca*	Profundidade (m)	Cota da Boca do Furo (m)
F-1	4 + 2,50	13,50	160,80
F-2	4 + 7,50	14,70	
F-3	4 + 12,50	16,20	
F-4	4 + 17,50	18,60	
F-5	5 + 2,50	19,80	
F-6	5 + 7,50	22,20	
F-7	5 + 12,50	24,90	
F-8	5 + 17,50	27,30	
F-9	6 + 2,50	27,30	
F-10	6 + 7,50	20,70	154,20
F-11	6 + 12,50		
F-12	6 + 17,50		
F-13	7 + 2,50		
F-14	7 + 7,50		
F-15	7 + 12,50		
F-16	7 + 17,50		
F-17	8 + 2,50		
F-18	8 + 7,50		
F-19	8 + 12,50		
F-20	8 + 17,50		
F-21	9 + 2,50		
F-22	9 + 7,50		
F-23	9 + 12,50		
F-24	9 + 17,50		

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap5.docx

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

Furo	Estaca*	Profundidade (m)	Cota da Boca do Furo (m)
F-25	10 + 2,50		
F-26	10 + 7,50		
F-27	10 + 12,50		
F-28	10 + 17,50		
F-29	11 + 2,50		
F-30	11 + 7,50		
F-31	11 + 12,50		
F-32	11 + 17,50		
F-33	12 + 2,50	18,30	
F-34	12 + 7,50		
F-35	12 + 12,50		
F-36	12 + 17,50		
F-37	13 + 2,50		
F-38	13 + 7,50		
F-39	13 + 12,50		
F-40	13 + 17,50	15,90	
F-41	14 + 2,50	13,50	
F-42	14 + 7,50		
F-43	14 + 12,50	18,0	160,80
F-44	14 + 17,50		

*Furo localizado a 0,30 m a jusante do eixo da barragem no interior da galeria de drenagem e inspeção.

5.5.3 Reaterros e Sistema de Drenagem Subterrânea à Jusante

O objetivo da execução de um reaterro, junto a ombreira esquerda, com saibro argiloso é diminuir a percolação de água pelas ombreiras e direcionar a água de uma surgência localizada no talude escavado.

Para o revestimento do reaterro deverá ser executada uma camada de cascalho compactado (saibro com pedregulho) de 3,0 m de largura com material proveniente das escavações obrigatórias do barramento. A inclinação dos taludes é de 1:2 (V:H) e na cota 158,0 m verifica-se uma berma de 5,0 m de largura. No Desenho BAR-TER- apresentados a planta baixa, o corte da seção e os detalhes construtivos na ombreira esquerda.

A drenagem interna do reaterro é realizada com uma camada drenante de 0,60m, que se constitui de transição granulométrica com pedrisco e brita Nº 2 e 0,30 m de brita Nº 1 e Nº 2. A percolação de água das ombreiras será coletada nas camadas drenantes e direcionadas a orifícios de 100 mm de diâmetro com tela (malha com diâmetro máximo de 9,52 mm), de livre drenagem, presentes em uma mureta de concreto na estaca 17+1,0 m, aproximadamente. Neste local também se encontra a saída da água advinda da surgência

Consórcio:





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
 SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E CANAIS

na ombreira esquerda, sendo esta constituída de um tubo perfurado de PVC de 100 mm de diâmetro envolto com geotêxtil não tecido de 200 g/cm², conforme se verifica na Figura 5.14:

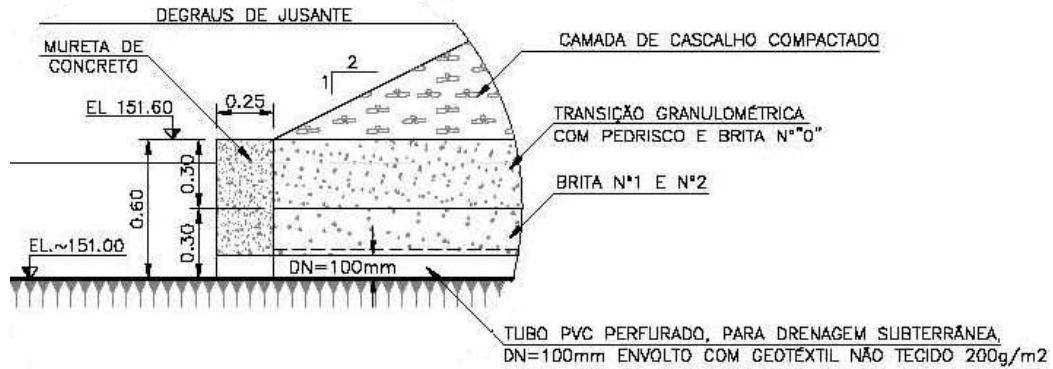


Figura 5.14: Detalhe da drenagem interna dos reaterros com camadas drenantes e tubo de PVC perfurado com saídas d'água na mureta de concreto

Caso exista água de fundação minando e/ou de drenagem natural da encosta deverá ser executado um prolongamento do tubo flexível de drenagem até este local. A extremidade do tubo deverá ser tamponada com "cap" e/ou bucha de geotêxtil de forma a evitar a entrada de agregados e/ou finos para o interior da tubulação.

A água desses orifícios e tubos de 100 mm é coletada em uma sarjeta de concreto simples moldada in loco, sendo que na ombreira esquerda, para o monitoramento das vazões recomenda-se a instalação de um medidor de vazão triangular acoplado (denominado MV-01).



ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

6 PROJETO EXECUTIVO DO MACIÇO DA BARRAGEM

1435-R-PRJ-FIN-01-04_Cap6.docx

Consórcio:

187





ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
~~SECRETARIA EXTRAORDINÁRIA DA IRRIGAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA~~
SECRETARIA DE OBRAS E HABITAÇÃO - DEPARTAMENTO DE BARRAGENS E
CANAIS

6 PROJETO EXECUTIVO DO MACIÇO DA BARRAGEM

6.1 Generalidades

Neste item é abordada a caracterização do maciço da barragem, com especial ênfase à análise de estabilidade do mesmo, além dos itens referentes à seção transversal adotada, a definição da cota de coroamento do maciço, aos materiais a serem utilizados nas obras necessárias à barragem e aos procedimentos e detalhes construtivos importantes ao bom desempenho da obra.

6.2 Descrição das Estruturas de Concreto da Barragem

A barragem definida neste projeto consiste nos muros situados nas ombreiras, direita e esquerda, e no vertedouro, posicionado entre os muros. Estas estruturas serão de concreto do tipo gravidade.

A estrutura da barragem constitui-se basicamente em blocos maciços de Concreto Compactado com Rolo – CCR, cujo peso próprio deverá resistir às solicitações provocadas, entre outras, pelos empuxos hidráulicos da água no reservatório e subpressões oriundas de infiltrações em sua fundação.

Como o CCR é um concreto “pobre” sujeito à degradação provocada pelo meio ambiente (intempérie), as faces externas serão envolvidas por uma camada de proteção com Concreto Convencional Vibrado – CCV. Estas camadas de proteção são diferenciadas conforme o grau de agressão previsto e poderão ser em concreto simples ou armado com diferentes espessuras, conforme detalhado no projeto estrutural.

Ao longo do paramento de concreto na face de montante, junto à sua base, foi previsto uma laje de concreto denominada “plinto”, ancorada na rocha de fundação, com largura de 2,50 m e espessura de 0,50 m. Sua função é a de aliviar a carga hidrostática proveniente da fundação e permitir a execução da cortina de injeções primária. Esta laje será provida de juntas de contração nas mudanças de alinhamento e sua ligação com o paramento de montante será feita através de uma junta perimetral. Esta junta será protegida por um tapete impermeável de solo compactado, por toda a extensão da mesma.

Além da estrutura básica da barragem, descrita acima, fazem parte do conjunto algumas estruturas integrantes do arranjo que, devido à sua finalidade, serão executadas em Concreto Convencional Vibrado - CCV. Estas estruturas são o Desvio do rio, a Tomada de Água, e as Bacias de Dissipação.

A estrutura do desvio do rio, que será utilizada na etapa construtiva, será constituída por quatro adufas de seção 4,0 m x 8,0 m, projetadas para dar descarga às vazões previstas durante esta etapa, por uma ponte provisória por sobre a entrada das adufas, por um muro de montante para conter o aterro de enseadeira, por um muro de jusante com a mesma finalidade anterior e pela bacia de dissipação.

A Tomada de Água destina-se a abrigar os elementos mecânicos, como grades, comportas, tubulações, válvula de jato oco, Casa de Comando, etc. que permitem a operação da mesma.

Os muros laterais do Vertedouro servem para delimitá-lo e conter lateralmente a água que escoar sobre ele.

1435-R-PRU-FIN-01-04_Cap6.docx

Consórcio:

